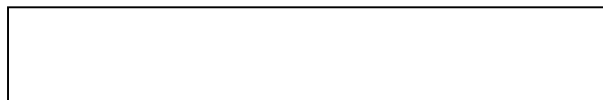






**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA**  
**E.T.S.I.I. y de Telecomunicación**  
Campus de Arrosadía s/n  
31006-Pamplona Navarra-Spain  
Tfno: 34-48-169000  
Fax: 34-48-169169

**upna**  
Universidad  
Pública de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa



**upna**  
Universidad  
Pública de Navarra  
Nafarroako  
Unibertsitate Publikoa

# **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE REDES WPAN 802.15.4 EN SALAS PREPARADAS PARA LA PRÁCTICA DE JUDO.**

**Carlos Avalos Bujanda**

Universidad Pública de Navarra  
Radio Propagación de Ondas Electromagnéticas  
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
Tutor: Francisco Javier Falcone Lanas

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>6</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>7</b>
<b>3. ESTADO DEL ARTE</b>	<b>8</b>
<b>3.1. REDES INALÁMBRICAS.</b>	<b>8</b>
3.1.1. CLASES DE REDES INALÁMBRICAS.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.1.2. BLUETOOTH.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.1.2.1. INTRODUCCIÓN A BLUETOOTH.	10
3.1.2.2. PILA DE PROTOCOLOS.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.1.2.3. MAESTROS Y ECLAVOS.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.3
3.1.2.4. PICONETS Y SCATTERNETS.	14
3.1.3. ZIGBEE.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.6
3.1.3.1. INTRODUCCIÓN A ZIGBEE.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.1.3.2. CAPAS DEL PROTOCOLO ZIGBEE.	17
3.1.3.3. TIPOS DE DISPOSITIVOS ZIGBEE.	18
3.1.3.4. TOPOLOGÍA.	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.1.3.4.1. TOPOLOGIA EN ESTRELLA.	18
3.1.3.4.2. TOPOLOGÍA ARBOL.	19
3.1.3.4.3. TOPOLOGÍA MALLA.	20
<b>3.2. PROPAGACIÓN DE RADIOFRECUENCIAS.</b>	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.2.1. POLARIZACIÓN.	21
3.2.2. PÉRDIDA DE TRAYECTO	21
3.2.3. LONGITUD DE ONDA DE LA SEÑAL	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
3.2.4. PENETRACIÓN DE LA SEÑAL.	23
3.2.5. REFLEXIÓN, DISPERSIÓN Y DIFRACCIÓN.	25
3.2.6. PROPAGACIÓN MULTITRAYECTO.	26
3.2.6.1. MULTITRAYECTO-FASE ALEATORIA ADICIONAL.	27
3.2.6.2. MULTITRAYECTO NULO.	28
3.2.6.3. CANAL Y MARGEN DE DESVANECIMIENTO.	28
3.2.6.4. SEGURIDAD.	29
3.2.6.5. SEGURIDAD.	29
<b>3.3. SENSORES Y TRANSDUCTORES.</b>	<b>30</b>
3.3.1. CLASIFICACIÓN DE LOS SENSORES.	30
3.3.2. SENSOR EFECTO HALL.	34
<b>3.4. ANTECEDENTES</b>	<b>36</b>
<b>4. MÉTODO EXPERIMENTAL</b>	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
<b>4.1. ESTUDIO DE LA PRIMERA SALA.</b>	<b>40</b>
4.1.1. ESCENARIO.	40
4.1.2. RESULTADOS DE LAS MEDIDAS.	42

4.1.2.1. MEDIDAS EN EL PERIMETRO DE LA ZONA DE COMBATE.	43
4.1.2.2. MEDIDAS CON EL TX. EN EL CUERPO HUMANO.	45
4.1.3. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES.	48
4.1.3.1. SIMULACIONES EN EL PERIMETRO DE LA ZONA DE COMBATE.	50
4.1.3.2. SIMULACIONES CON EL TX. EN EL CUERPO HUMANO.	50
4.1.4. ANALISIS DE LOS RESULTADOS.	55
<b>4.2. ESTUDIO DE LA SEGUNDA SALA.</b>	<b>65</b>
4.2.1. ESCENARIO.	65
4.2.2. RESULTADOS DE LAS MEDIDAS.	69
4.2.3. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES.	76
4.2.4. ANALISIS DE LOS RESULTADOS.	89
 <b>5. CONCLUSIONES</b>	 <b>91</b>
 <b>6. LÍNEAS FUTURAS</b>	 <b>92</b>
 <b>7. BIBLIOGRAFÍA</b>	 <b>94</b>

# 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día estamos muy acostumbrados a recibir toda clase de información a través de las redes inalámbricas, ya sea mediante nuestros dispositivos móviles, tabletas, ordenadores portátiles, etc. Muchas veces no nos damos cuenta, pero el simple hecho de encender el televisor con un mando a distancia requiere tecnología inalámbrica de infrarrojos.

Actualmente la mayoría de nosotros consideramos imprescindible este tipo de tecnologías pues las utilizamos en nuestro día a día para compartir datos a través de Bluetooth, conectarnos a internet mediante redes Wi-Fi o seguir una ruta con el GPS.

En los últimos años las redes inalámbrica se han implementado no solo para nuestra comodidad diaria sino también para múltiples campos como la medicina, la seguridad vial, la educación o el deporte.

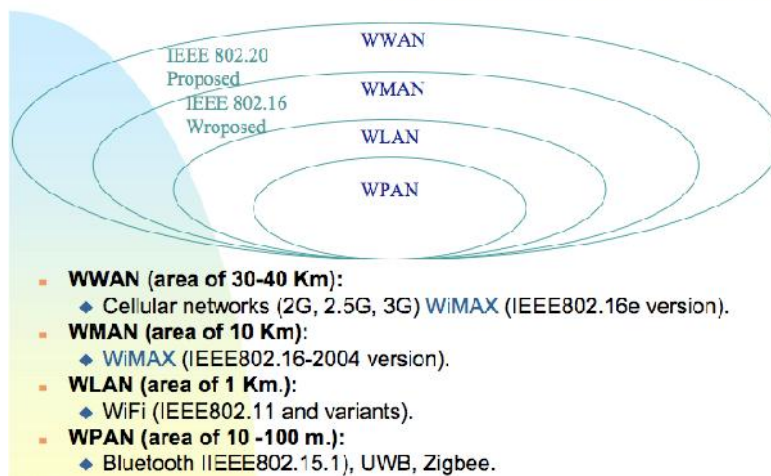
Para muchos de los deportes más mediáticos como el fútbol, el baloncesto, el tenis o el atletismo ya se han creado todo tipo de dispositivos inalámbricos que ayudan al deportista o dan información detallada de este. Sin embargo para otros deportes como por ejemplo el judo, queda aún mucho camino por recorrer y no se han realizado demasiados estudios.

## 2. OBJETIVOS

En este proyecto buscamos dar un primer paso hacia la implementación de tecnología inalámbrica para el judo. El objetivo es analizar las características de dos salas donde se realiza la práctica de judo y estudiar el impacto del entorno a la transmisión de las ondas electromagnéticas con las que se transmite la información inalámbrica.

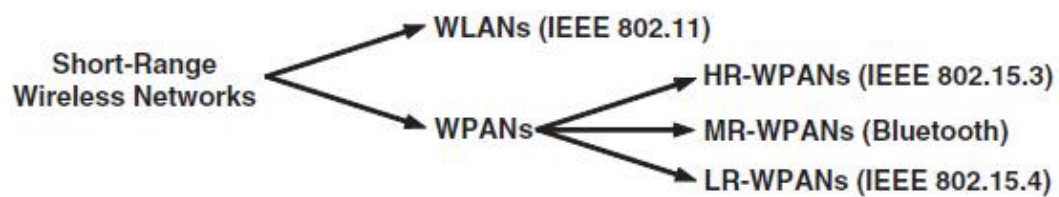
En este trabajo se va a analizar el comportamiento de dos sala y para ello se realizarán medidas de potencia reales así como simulaciones con un software de trazado de rayos desarrollado por la Universidad Pública de navarra.

## Wireless Access Networks



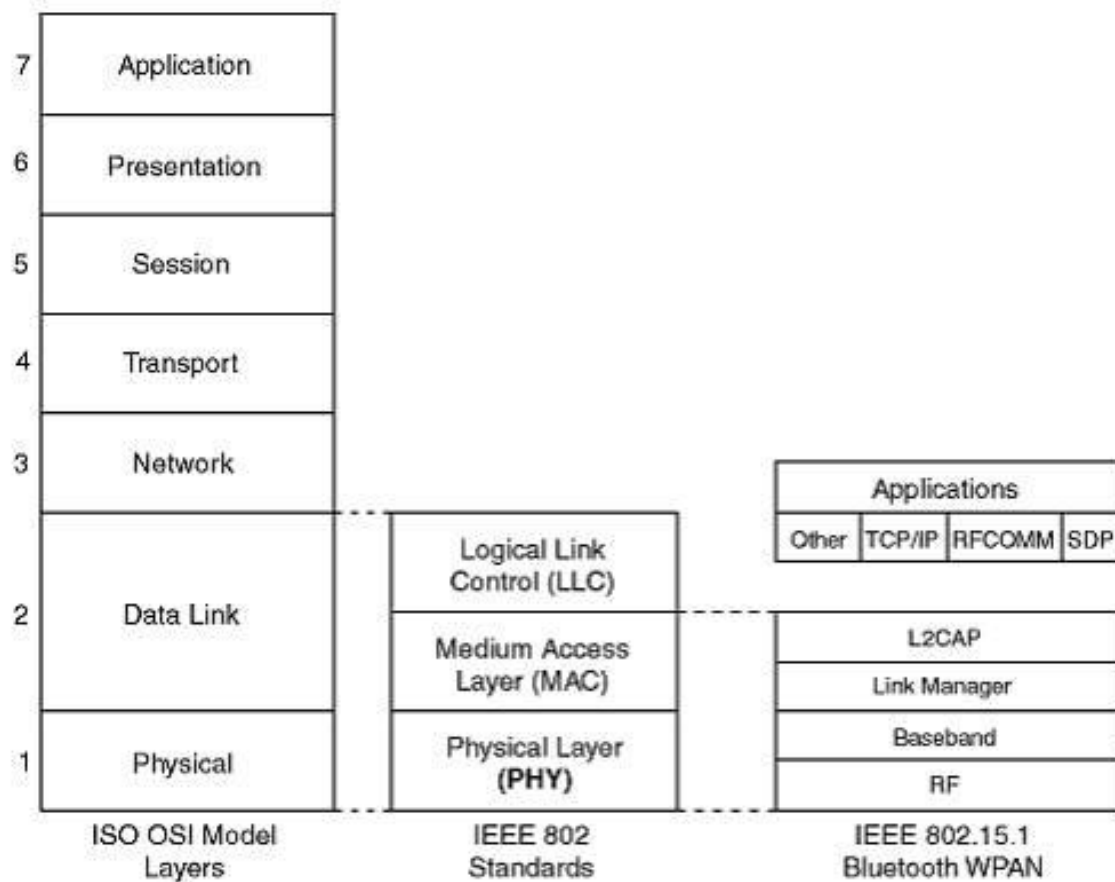


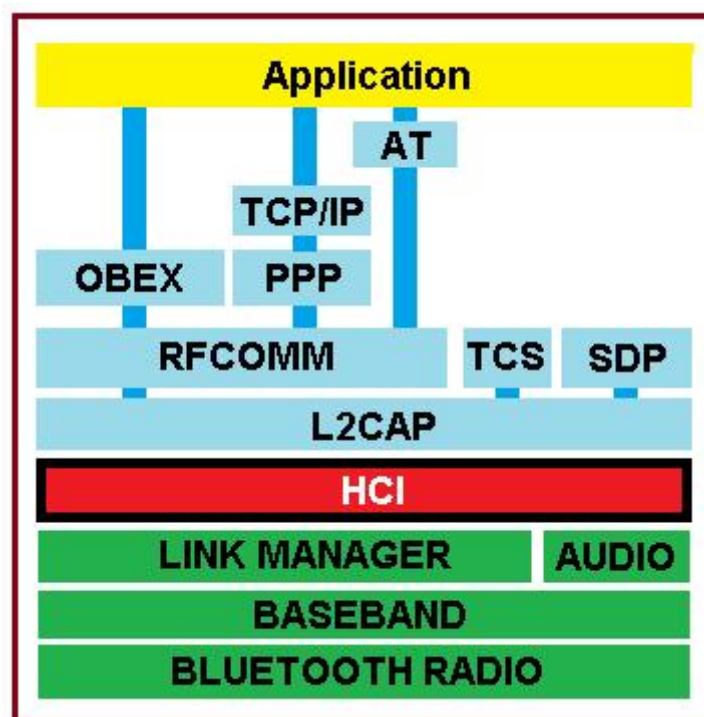
TIPO DE RED	WPAN	WLAN	WMAN	WWAN
Estándar	IEEE 802.15 (Bluetooth)	IEEE 802.11	IEEE 802.16	GSM/CDMA2000 /UMTS
Velocidad	721 Kb/s	1-2-11-54 Mb/s	70 Mbits	9,6/170/2000 Kb/s
Frecuencia	2,4 GHz	2,4 y 5 GHz Infrarrojos	10-66; <6; < 11	0,9/1,8/2,1 GHz
Rango	10 m	70 - 150 m	Hasta 50Km	35 Km
Técnica radio	FHSS	FHSS, DSSS, OFDM	OFDM	Varias
Itinerancia (roaming)	No	Sí	Sí	Sí
Equivalente a:	Cables de conexión	LAN	MAN	Conexión telef. (módem)

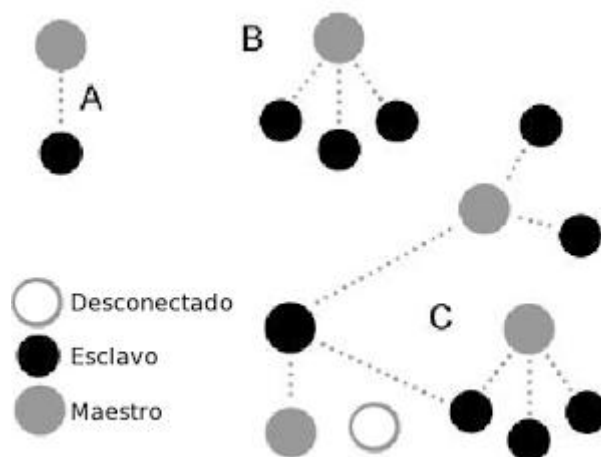


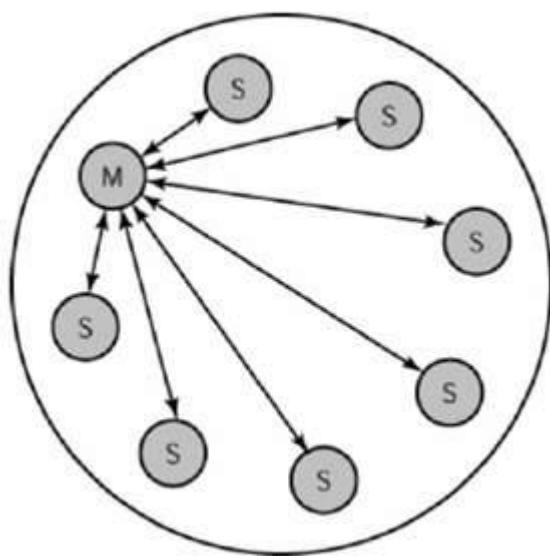


Clase	Potencia máxima permitida (mW.)	Potencia máxima permitida (dBm)	Alcance (aproximado)
Clase 1	100 mW	20 dBm	30 metros
Clase 2	2.5 mW	4 dBm	10-5 metros
Clase 3	1 mW	0 dBm	1 metro









La especificación limita el número de esclavos en una piconet a siete, estando cada uno conectado únicamente al maestro. No obstante, es posible realizar redes de mayor tamaño, de forma que se pueda cubrir un mayor espacio y conectar a un mayor número de miembros, enlazando varias piconets y formando lo que se denomina una scatternet, donde algunos de los dispositivos forman parte de más de una piconet como se observa en la Figura.

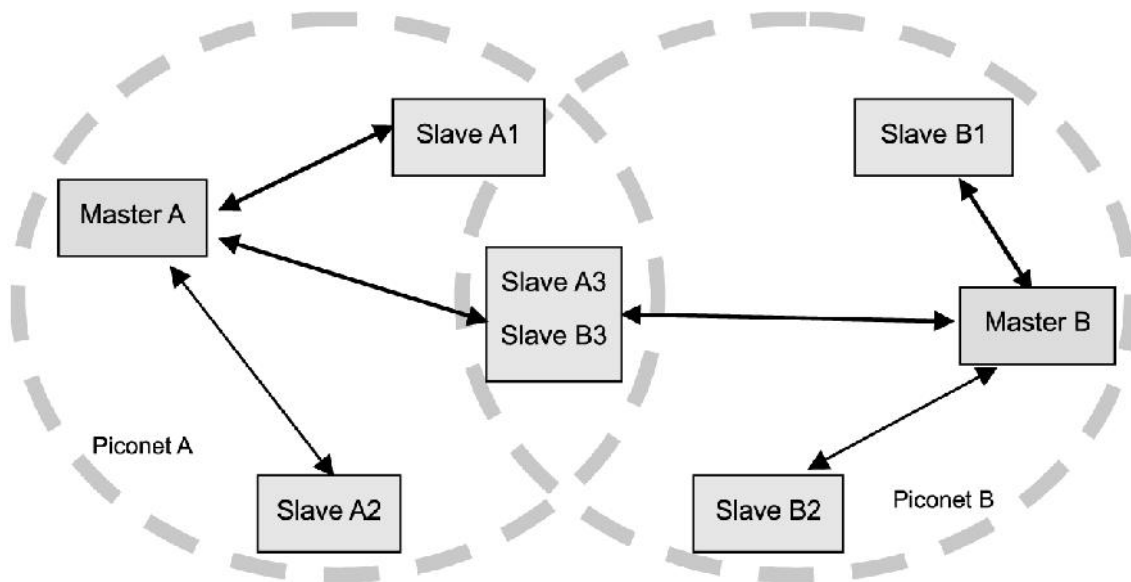


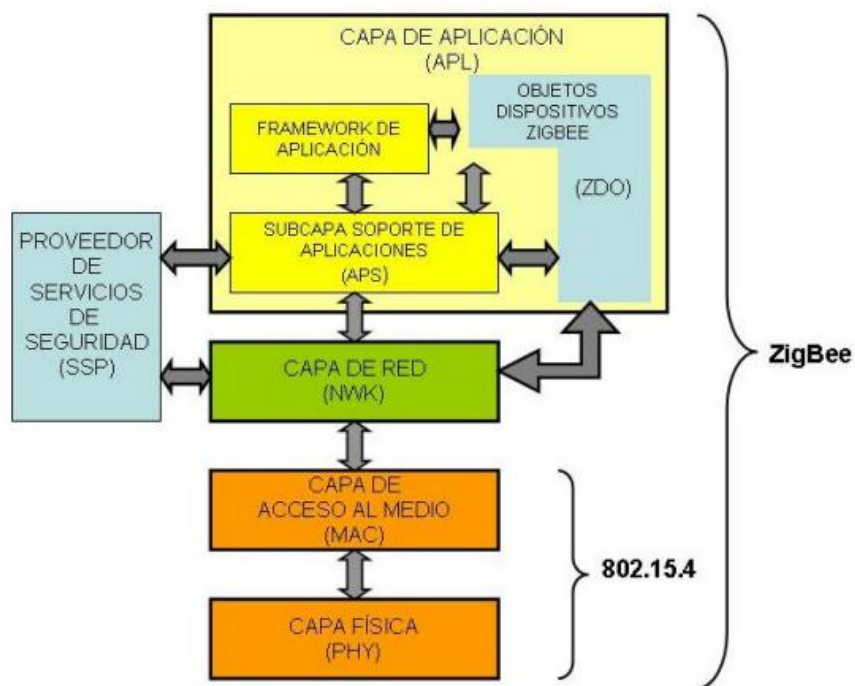
Imagen 3.7

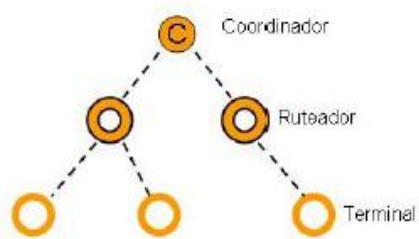
Además de las fuentes de interferencia correspondientes a otros protocolos que usan la banda de frecuencia ISM como ya hemos mencionado, la mayor fuente de interferencia puede provenir de otros dispositivos Bluetooth. Aunque los dispositivos pertenecientes a una misma piconet se sincronizan para evitarse los unos a los otros, pueden existir otras piconets que colisionen por encontrarse a la misma frecuencia sin sincronizarse.

Si existe una colisión de este tipo en un canal particular, los paquetes se perderán y tendrán que ser retransmitidos si son de datos, o ignorados si son de voz. Esto implica que a mayor número de piconets en un área, mayor será también el número de retransmisiones, con lo que disminuirá la tasa de transmisión. Este efecto tendrá lugar si hay muchas piconets independientes, así como en el caso de las scatternets, puesto que las piconets que las forman no coordinan sus secuencias de salto de frecuencia.

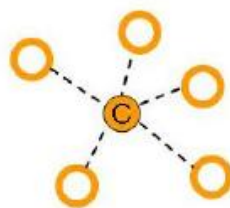




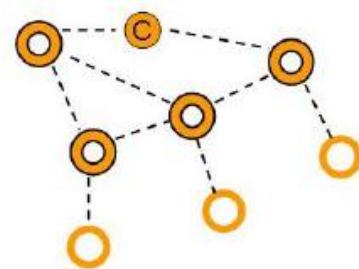




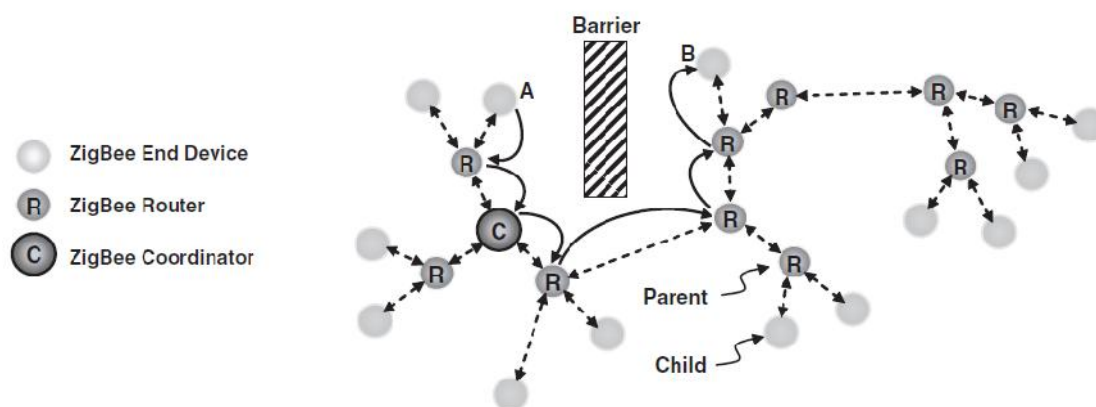
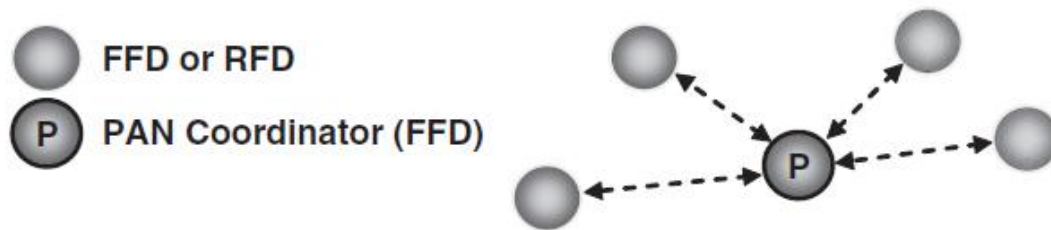
a) Topología Árbol

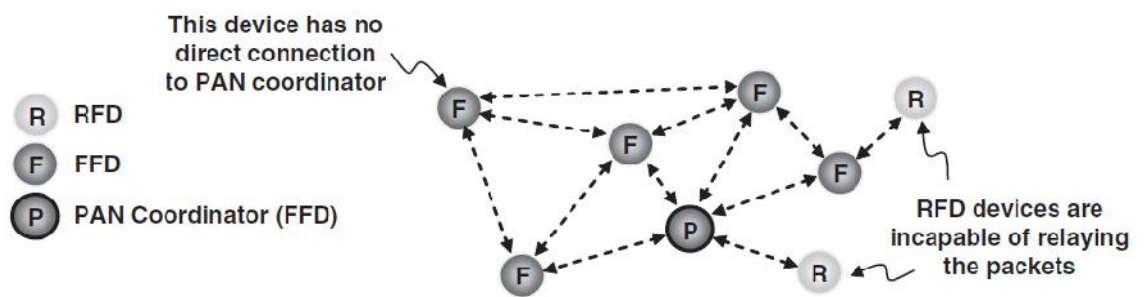


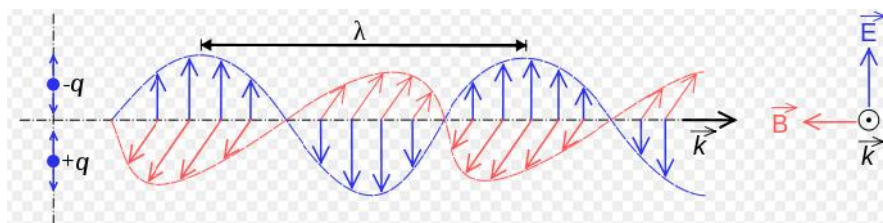
b) Topología Estrella

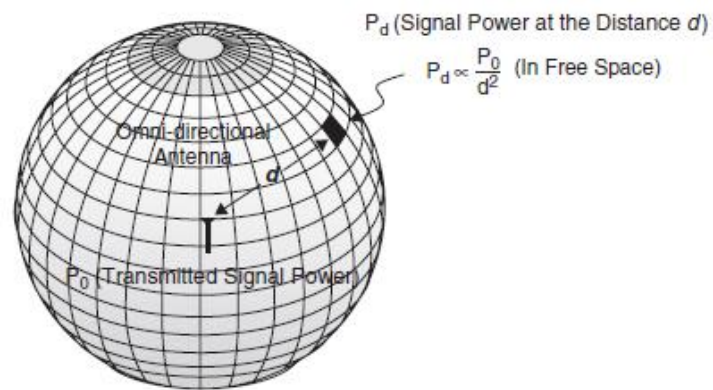


c) Topología Malla







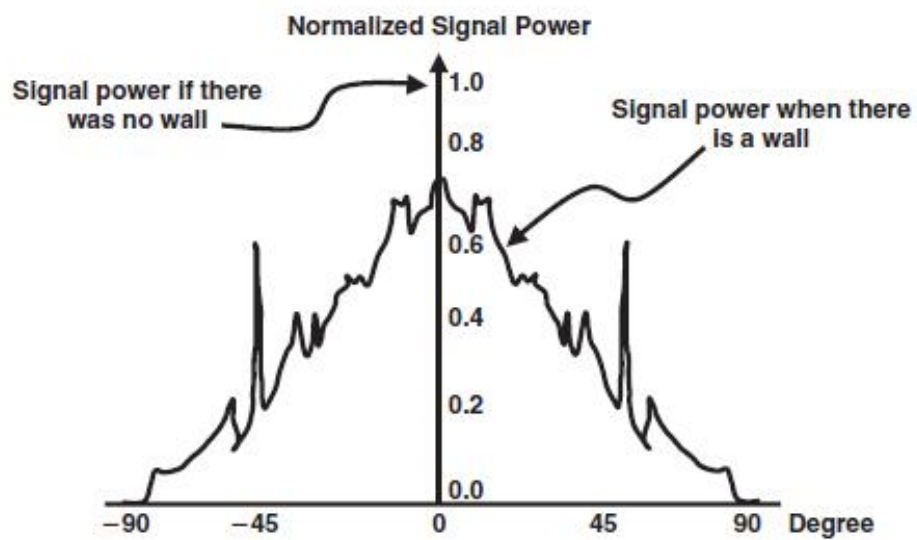
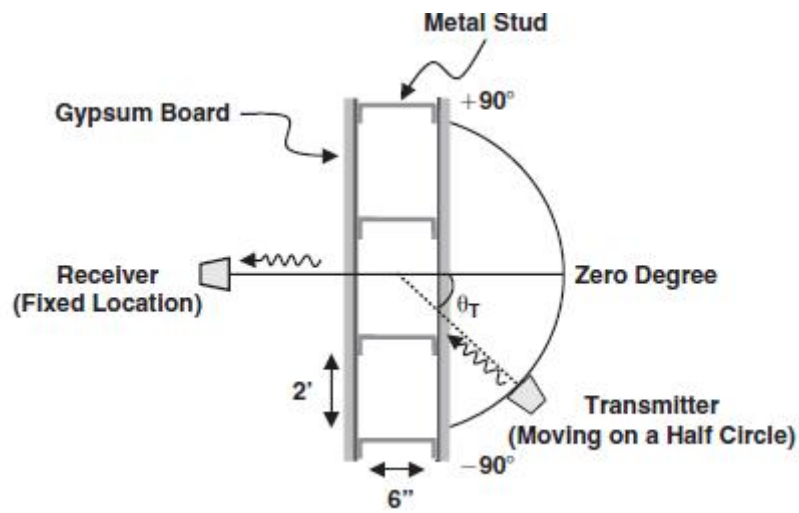


$$P_d = P_0 - 10 \times 2 \times \log_{10}(f) - 10 \times 2 \times \log_{10}(d) + 27.56$$

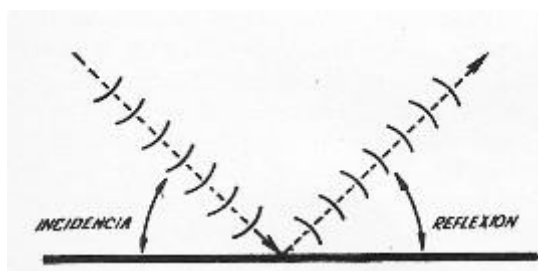
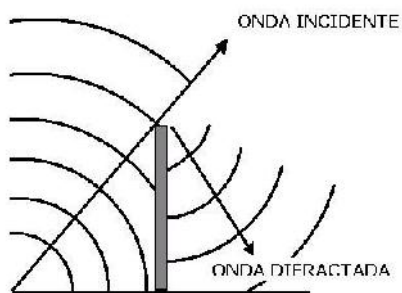
$$P_d = P_0 - 10 \times n \times \log_{10}(f) - 10 \times n \times \log_{10}(d) + 30 \times n - 32.44$$

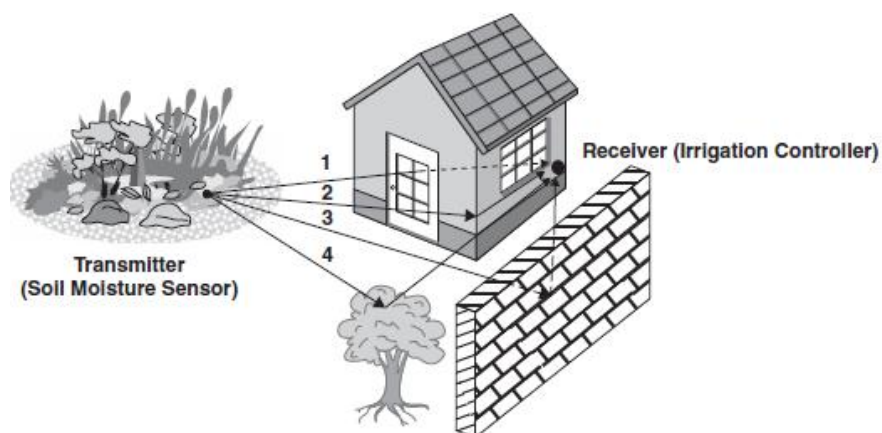
N	Environment
2.0	Free space
1.6 to 1.8	Inside a building, line of sight [2]
1.8	Grocery store [2]
1.8	Paper/cereal factory building [2]
2.09	A typical 15 m × 7.6 m conference room with table and chairs [3]
2.2	Retail store [2]
2 to 3	Inside a factory, no line of sight [2]
2.8	Indoor residential [4]
2.7 to 4.3	Inside a typical office building, no line of sight [1]

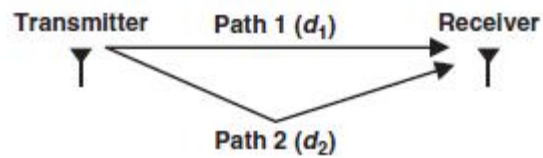
$$\text{Signal wavelength } (\lambda) = C \times T = \frac{C}{f}$$









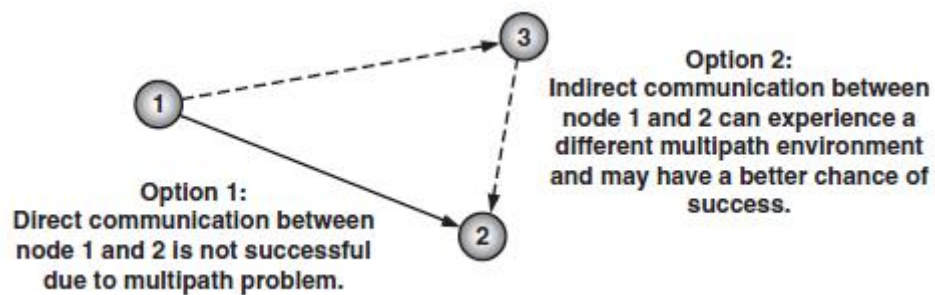


Environment	Delay Spread (ns)
Indoor residential (no line of sight) [4]	70
Indoor office (no line of sight) [4]	100
Indoor commercial (no line of sight) [4]	150
Large open space (indoor and outdoor; no line of sight) [9]	150 to 250

$$\Delta\theta = \frac{2\pi f}{C}(d_1 - d_2) = \frac{2\pi f}{C}\Delta d$$

$$\Delta d = (2K + 1) \frac{\lambda}{2} \Rightarrow \text{La diferencia de fase entre las señales será de } 180^\circ$$

$$\text{Coherence bandwidth (B}_c\text{) in Hertz} = \frac{1}{2\pi \times (\text{Delay Spread})}$$



En nuestro ejemplo al aire libre de antes, si el ancho de banda (BS) se incrementa a 2 MHz usando dispersión de la señal, el ancho de banda excede el ancho de banda coherente y una parte del espectro de la señal estará siempre fuera de cualquier multitrayecto nulo. Una señal con espectro parcialmente distorsionada todavía puede tener una posibilidad de recuperación por el receptor.

### 3.3 SENSORES Y TRANSDUCTORES

Los llamados **transductores** permiten la transformación de un tipo de energía (calorífica, solar, etc.) en otra (generalmente energía eléctrica) y a diferencia de los **sensores** generan tal energía por sí mismos (obviamente estando expuestos a las correspondientes magnitudes). Por su parte los sensores (tales como fotorresistencias, termistores, etc.) detectan un amplio rango de magnitudes físicas que posteriormente son procesadas en circuitos de control para ser transformadas en cambios eléctricos que alteran el funcionamiento de un sistema según la función deseada. Así los transductores generan algún tipo de energía y los sensores la aprovechan para reaccionar ante el ambiente externo.

#### 3.3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SENSORES

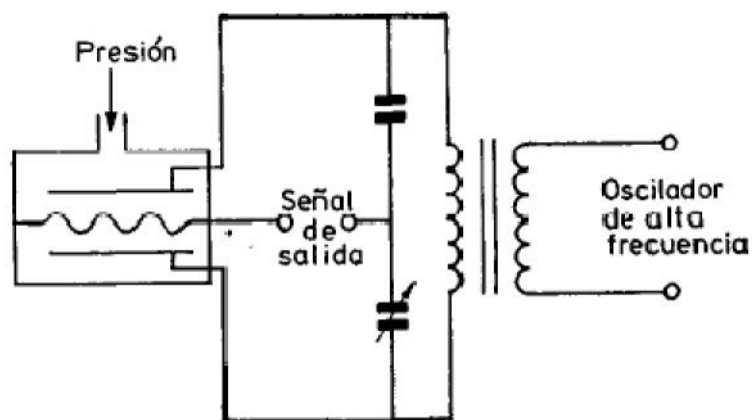
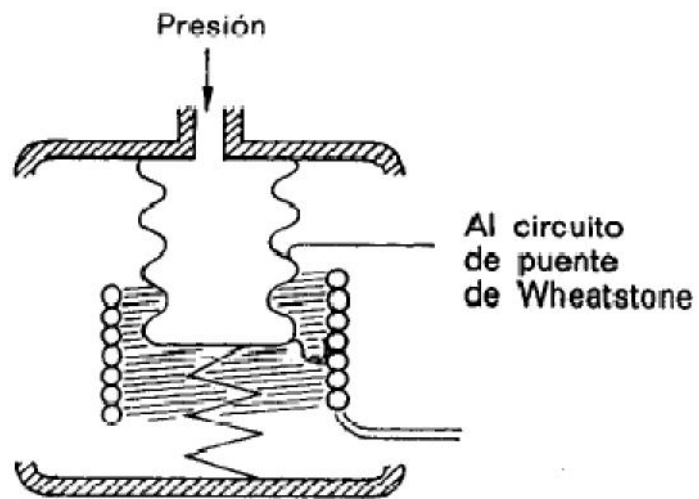
##### a. Según el tipo de alimentación

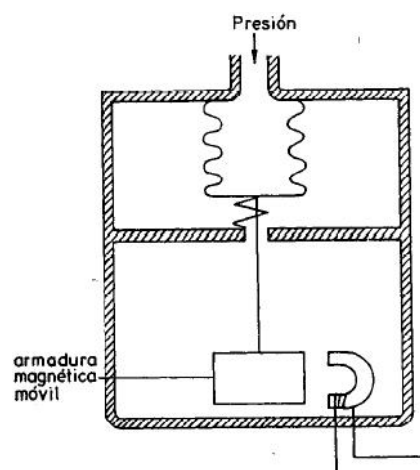
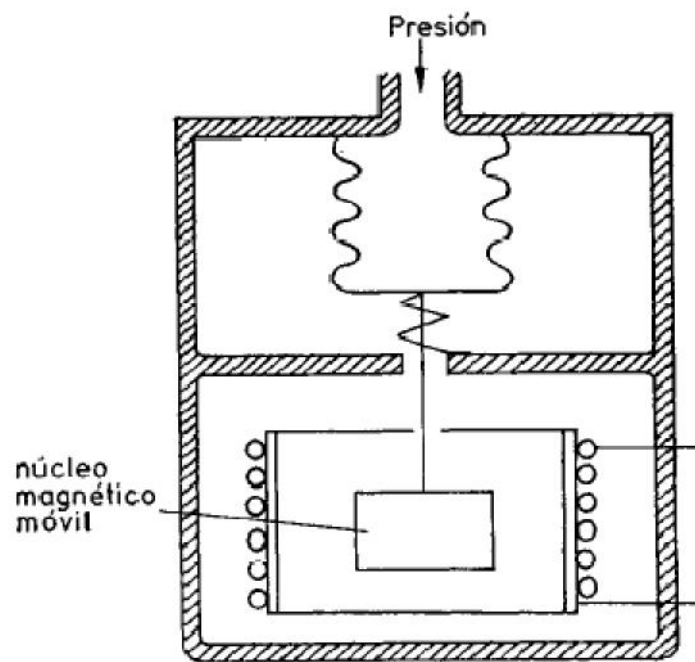
Existen dos formas de clasificar los sensores según su alimentación, la primera se basa en la variación de alguno de sus parámetros eléctricos, requerirán de una alimentación externa para realizar la medida. Estos sensores o transductores se denominan Moduladores o Pasivos. Por el contrario, aquellos sensores o transductores capaces de generar tensión o intensidad a partir de la magnitud física que se desea medir, no requieren de alimentación externa y se denominan Activos o Generadores.

##### a.1 Transductores moduladores o pasivos

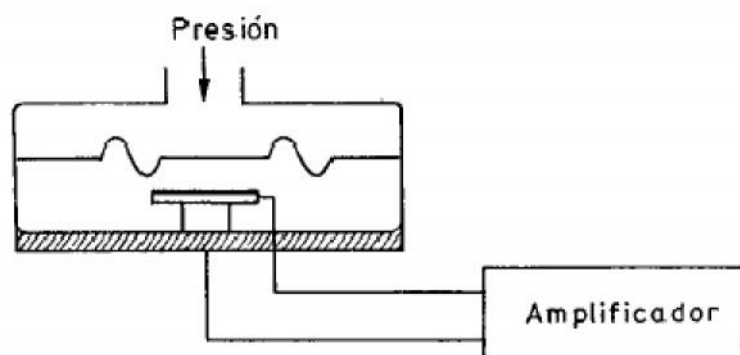
Los transductores pasivos pueden subdividirse en:

- **Transductores resistivos.**-Constituyen en un elemento elástico que varía la resistencia óhmica de un potenciómetro en función de la presión (imagen 3.20), este puede adoptar la forma de un solo hilo continuo o bien estar arrollado a una bobina siguiendo un valor lineal, son simples y su señal de salida es bastante potente como para proporcionar una corriente de salida suficiente para el funcionamiento de los instrumentos sin necesidad de amplificación; sin embargo son sensibles a pequeños movimientos del contacto del cursor.









onda del espectro solar. Cuando los fotones inciden sobre una célula FV, pueden ser reflejados o absorbidos, o pueden pasar a su través.

### **b. Según el modo de funcionamiento**

En función del modo que tenga el transductor para establecer la medida, se puede diferenciar entre transductores de deflexión y transductores de comparación.

#### **b.1 Transductores de deflexión**

En este tipo de sensores la magnitud de medida produce algún efecto físico, que ocasiona una reacción en el sensor, asociada a una variable medible.

#### **b.2 Transductores de Comparación**

Son transductores que comparan la variable a medir con otra conocida y que se emplea con referencia de la medida.

### **c. Según la señal de salida**

Existen tres tipos de transductores:

#### **c.1 Transductores analógicos**

La mayoría de los transductores tienen una salida analógica, que es una función continua de la medida, excepto por la modificación debida a la resolución del transductor. Es frecuente que estos transductores incluyan una etapa para adaptar su salida a los valores normalizados (0-10 V ó 4-20 mA).

#### **c.2 Transductores digitales**

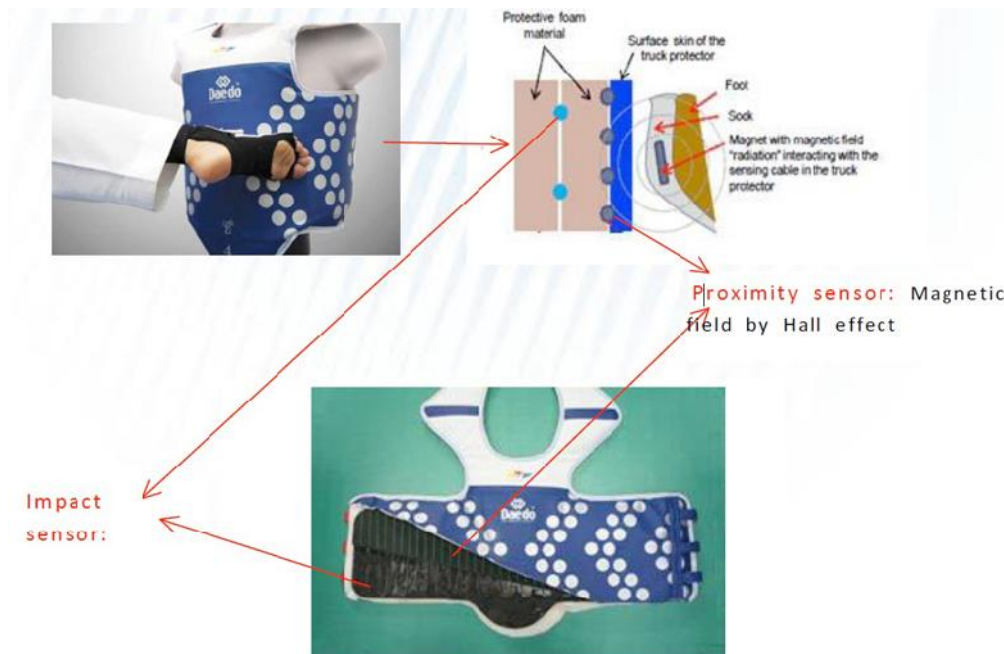
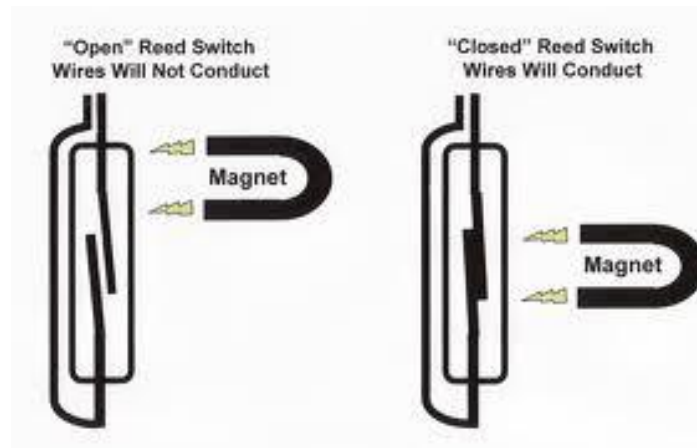
Debe medir una magnitud física y producir a la salida un código digital, es difícil encontrar transductores puramente digitales. Sin embargo son más numerosos los transductores que producen un tren de pulsos digitales en respuesta a un determinado fenómeno físico, son los llamados transductores casi-digitales.

#### **c.3 Transductores todo-nada**

Tienen una salida digital codificada de solo dos estados y únicamente indican cuando la variable detectada rebasa un cierto valor umbral o límite. Un ejemplo de transductor todo-nada muy utilizado es el detector de presencia en sus distintos tipos (inductivos, capacitivos, ópticos, etc.)

## **3.3.2 SENSOR DE EFECTO HALL**

El sensor de efecto Hall es un transductor que varía su tensión de salida en respuesta a cambios en el campo magnético. Los Sensores Hall se utilizan para la proximidad, el posicionamiento, la detección de velocidad y las aplicaciones de sensibilidad. En su forma más simple, el sensor funciona como un transductor análogo, que devuelve directamente un voltaje. Se puede determinar la distancia desde la Placa Hall, con un campo magnético conocido. Con el uso de grupos de sensores, se puede deducir la posición relativa del imán.



## PROTECTOR & SCORING SYSTEM

### E-Chest Protector



- KAPL Film Sensor (Proximity, Electronic Impact Sensor)
- Rechargeable Battery is embedded in the Transmitter
- High quality of impact sensor consistency & Linearity
- Outstanding durability & light weightiness

### E-Foot Protectors



- Embedded Electronic Chip
- Able to detect valid points without Dobok pants and other textile object interference.

### Receiver



- Connected by USB cable to the Lab-top
- Not necessary to prepare extra power supply
- Distinguished network communication

### Referee Scoring Box



- Wireless operation system (Easy & fast setup)
- Rechargeable Battery is embedded in the Transmitter
- Able to operate a tournament without an EBP
- Possible to operate only with receiver & RSS (Referee Scoring System)

### Program



- Easy & simple wireless judge box registration
- Applying KTA (Korea Taekwondo Association) rule
- Windows program



試踢時，有貼片



比賽時，沒貼片

## 4. METODO EXPERIMENTAL

Este trabajo trata de caracterizar dos salas de entrenamiento de judo en función del impacto que produce en las radiofrecuencias. Para ello he realizado dos métodos experimentales: Por un lado la medición física de la potencia emitida por un transmisor de radiofrecuencias XbeePro transmitiendo en el protocolo zigbee y por otro lado el empleo de un software de simulación de radiofrecuencias. Ambos me proporcionaran suficientes datos para caracterizar nuestras sala.

Hemos analizado el comportamiento de dos salas de judo, la primera sala es la sala de entrenamiento de artes marciales del polideportivo de las piscinas de Villava. El segundo entorno es el aula de artes marciales del campus de Arrosadía de la Universidad Pública de Navarra. El motivo de realizar el estudio de dos salas es que debido a la crecida del rio Arga esta primavera las instalaciones de villava quedaron completamente inutilizables.

### **Software de simulación por lanzamiento de rayos**

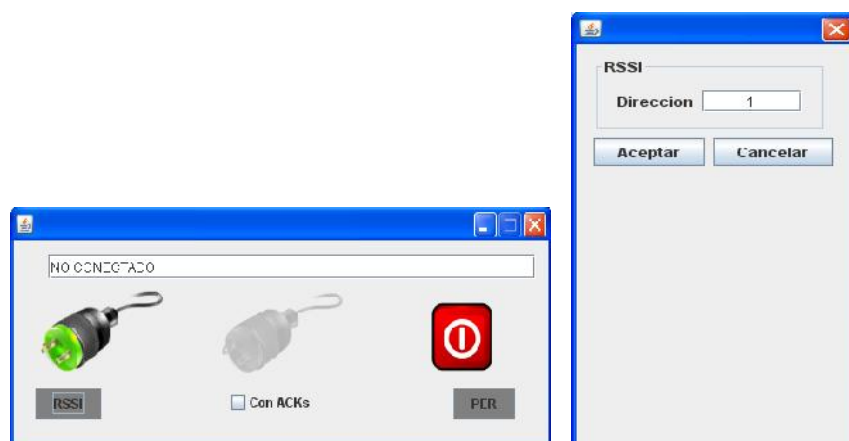
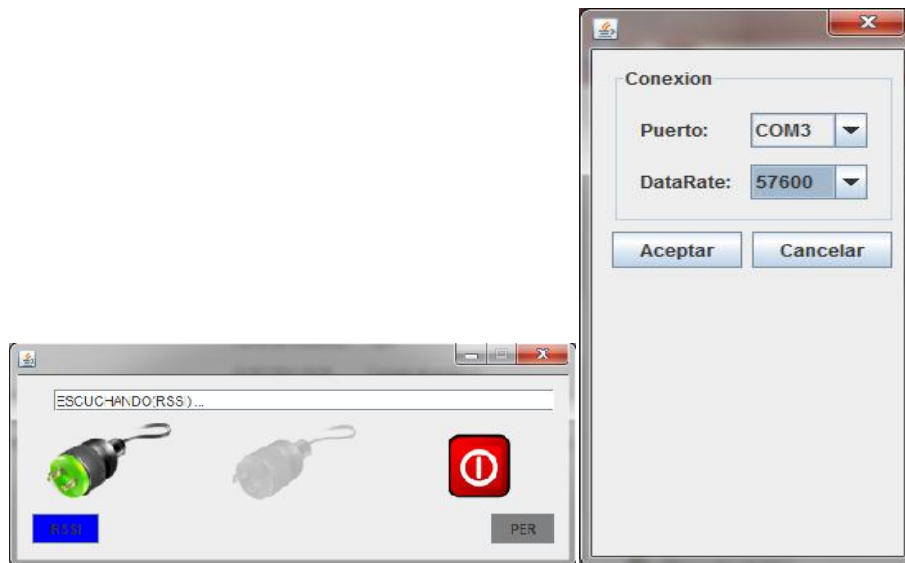
Para llevar a cabo estimaciones de potencia en las salas, se han realizado simulaciones con un software de trazado de rayos desarrollado en Matlab por la Universidad Pública de Navarra que aplica técnicas de lanzamiento de rayos tridimensional. Ha sido necesario añadir a este código un modelo de cuerpo humano que permite incluir personas en los escenarios de simulación.

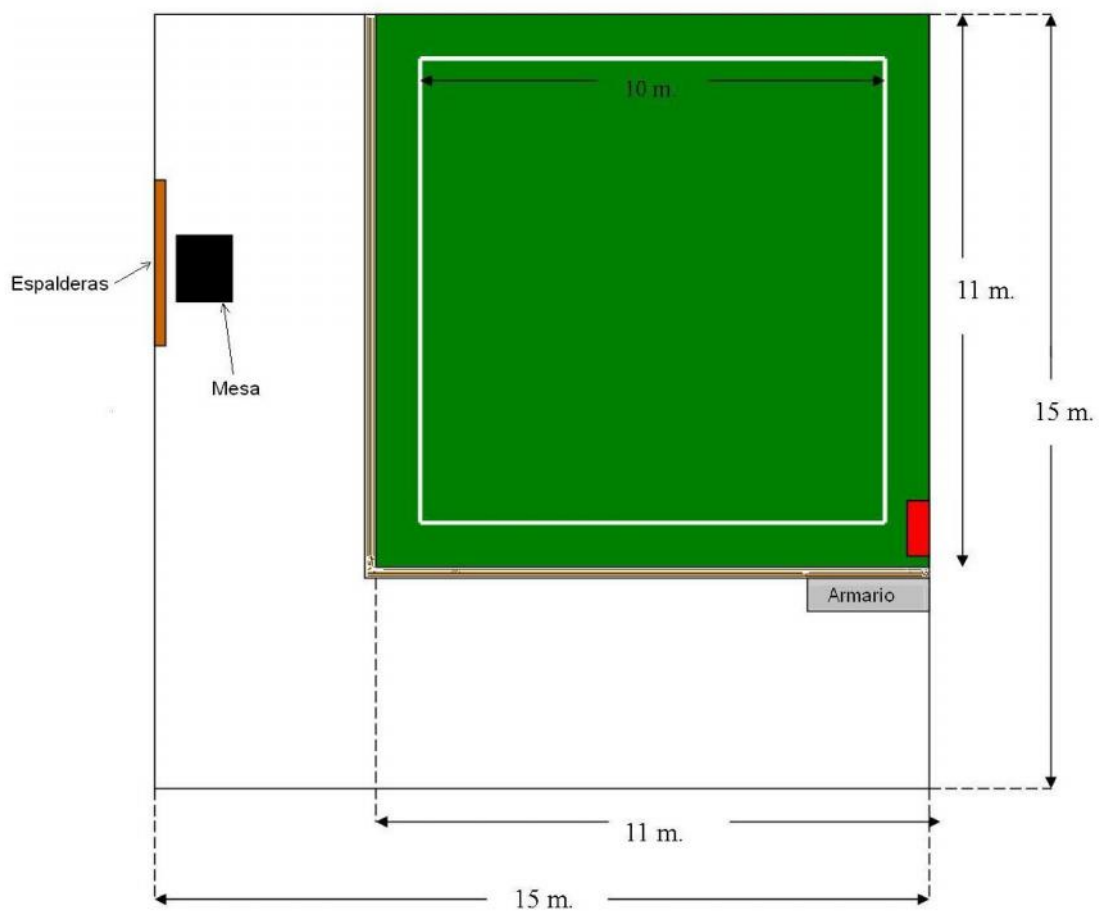
El método de trazado de rayos en 3D utilizado para este proyecto se basa en el lanzamiento de rayos desde el transmisor con un cierto ángulo, que va aumentado de manera discreta.

Cada rayo es calculado y computado de manera individual y el campo eléctrico de cada píxel es la suma de todas las contribuciones de los rayos que atraviesan ese píxel.

A la hora de crear el escenario para este trabajo, se puede construir cualquier tipo de objeto que pueda ser simplificado en hexaedros. Todos los objetos, en general, son definidos con un material. Además de estos parámetros, se pueden incluir también antenas emisoras y receptoras.

Uno de los principales problemas del simulador es que en salas a grandes distancias, conforme te alejas del emisor, la separación entre rayos es mayor debido al ángulo con el que son lanzados y por lo tanto los cubos óptimos para obtener los resultados pueden no ser los mismos para una distancia que para otra. Por lo tanto para obtener unos mejores resultados necesitaríamos poder cambiar las medidas de los cubos de simulación conforme nos alejamos del transmisor.







	Alto(cm)	Largo(cm)	Ancho(cm)
Tatami	5	110	110
Manguera emergencia	75	55	40
Armario	200	125	30
Mesa	75	80	80
Espalderas	270	350	20





#### 4.1.2.1 MEDIDAS EN EL PERIMETRO DE LA ZONA DE COMBATE

El sentido de estas medidas es conocer el comportamiento de una transmisión inalámbrica en esta sala para en un futuro poder implementar sensores alrededor del área de combate con el objetivo de conocer cuando un deportista sale de este área y de esta forma ayudar a los árbitros a tomar determinadas decisiones.

Hemos decidido colocar el transmisor, emitiendo en la banda de 2,41 GHz. a 15 dBm. de potencia, en 6 posiciones diferentes del perímetro como muestra la imagen 4.8 y realizar medidas en cada una de las posiciones.

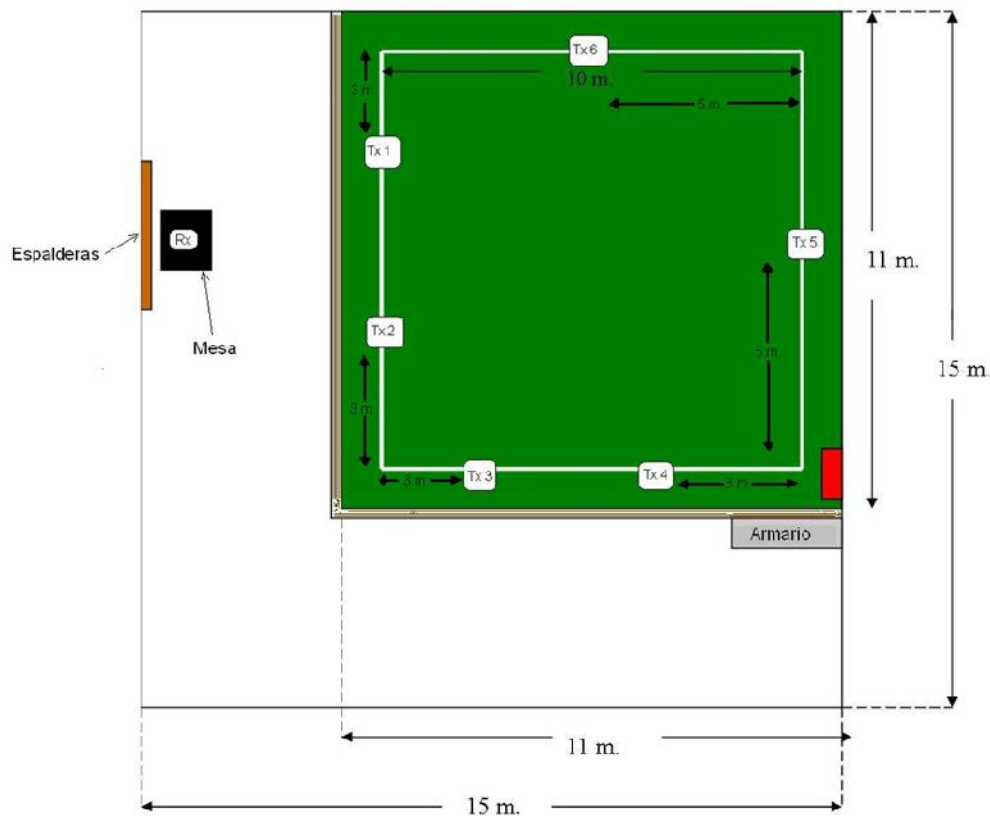
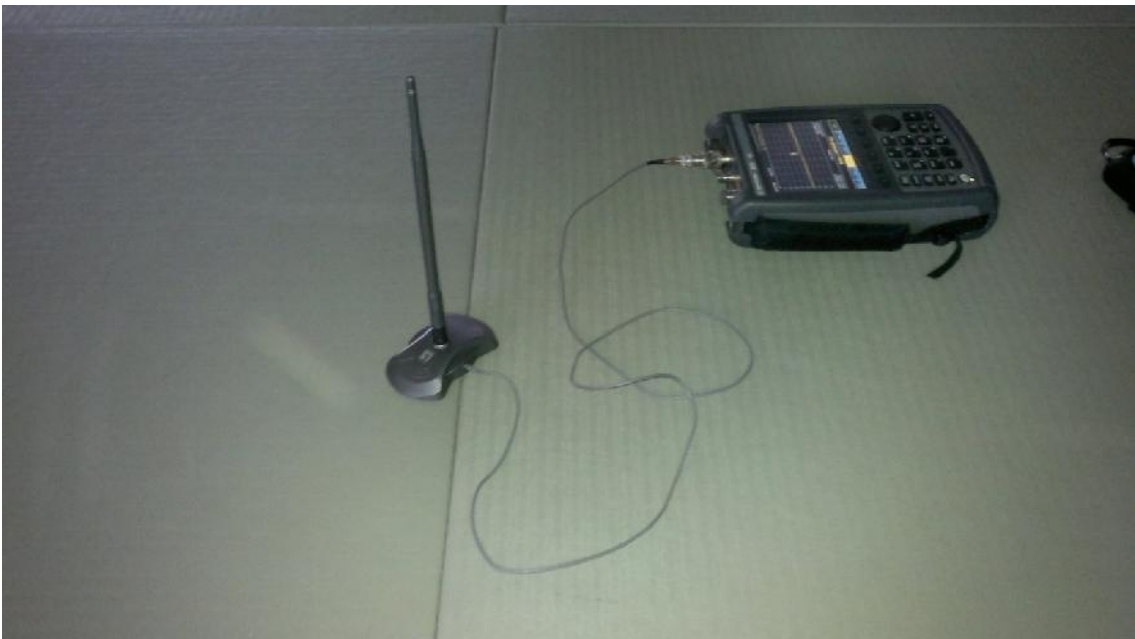
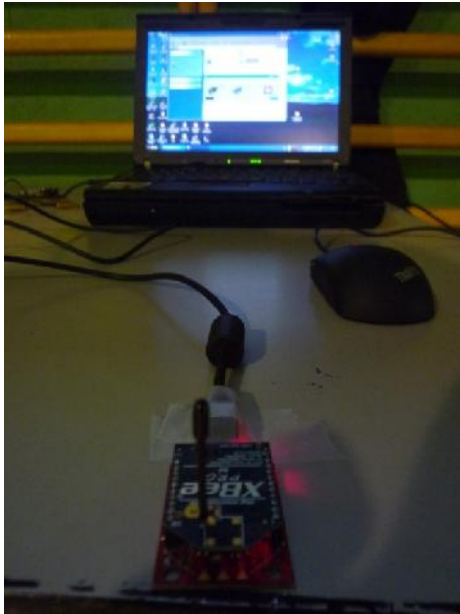


Imagen 4.8

Para medir la potencia usamos dos tipos de medidas obtenidas con dos dispositivos diferentes. Por un lado tenemos un receptor XbeePro de conectado



Los resultados obtenidos son los siguientes:

Posición	Medidas en el perímetro					
	1	2	3	4	5	6
Paquetes recibidos	99558	99634	99724	99758	99724	99774
RSSI	-62.29	-62.74	-66.64	-69.9	-67.4	-72.74
PER	0.442	0.366	0.276	0.242	0.276	0.226
Potencia analizador (dBm)	-53.3	-55.58	-69.23	-67.17	-68.35	-71.3

Tabla 4.2

#### 4.1.2.2 MEDIDAS CON TX EL CUERPO HUMANO

Decidimos colocar el transmisor en diferentes partes del judoca que consideramos interesantes para futuras aplicaciones de supuestos sensores que servirían tanto para mejorar el sistema de puntuación de un combate de judo como para proporcionar información acerca del deportista y así mejorar su método de entrenamiento y obtener información de sus constantes vitales u otros datos de interés.

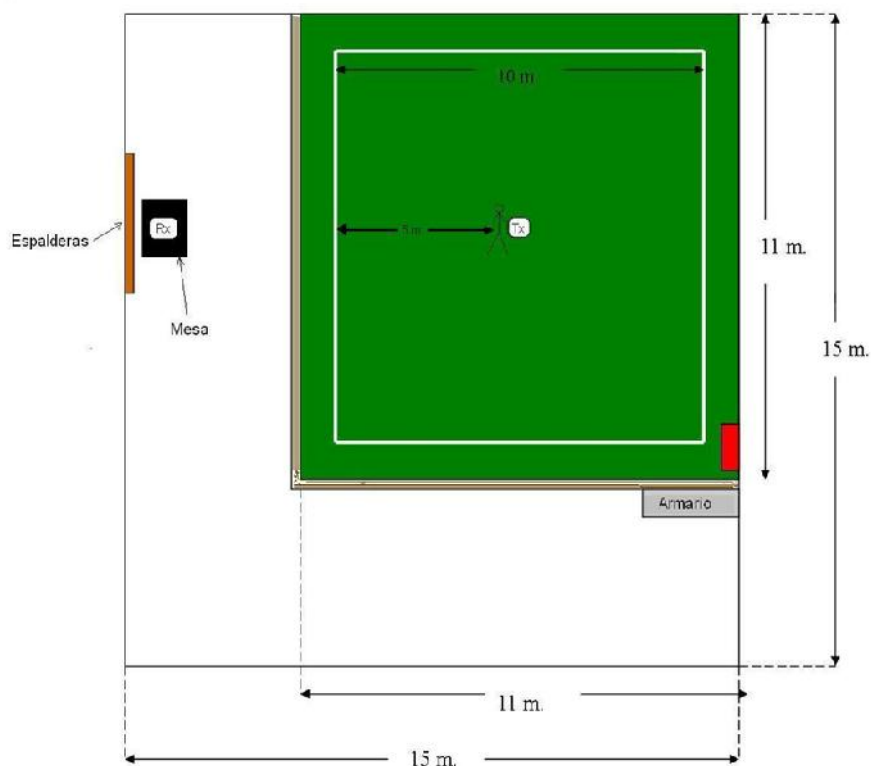


Imagen 4.11

Para las realizar las medidas, se situó una persona de pie en un punto central del área de combate. El sujeto utilizó un kimono oficial llamado judogi que es la prenda necesaria para participar en competiciones internacionales según la federación internacional de judo.



Imágenes 4.12

Una vez el sujeto está de cara al receptor en la posición central del área de combate, situaremos el transmisor en las siguientes partes del cuerpo: Pecho, espalda, brazo izquierdo y pierna izquierda.



Imágenes 4.13

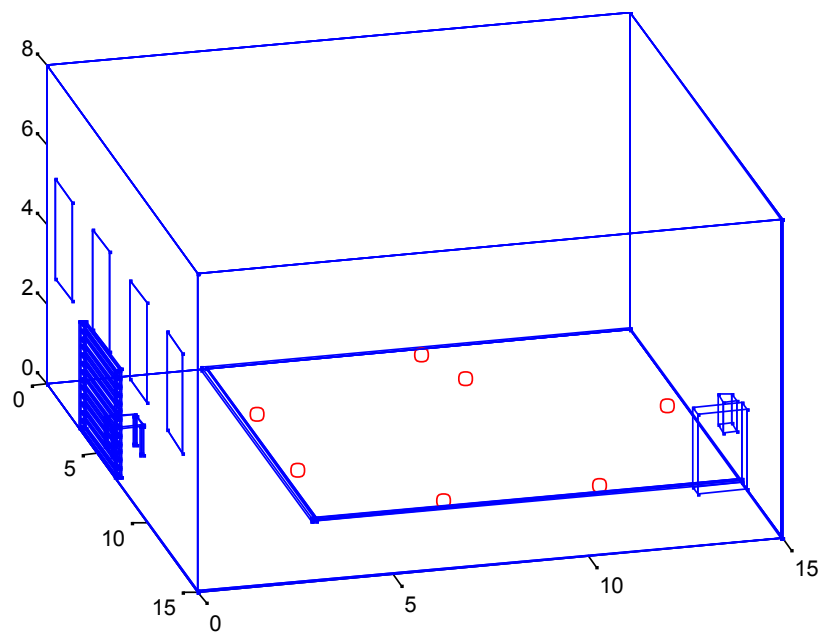




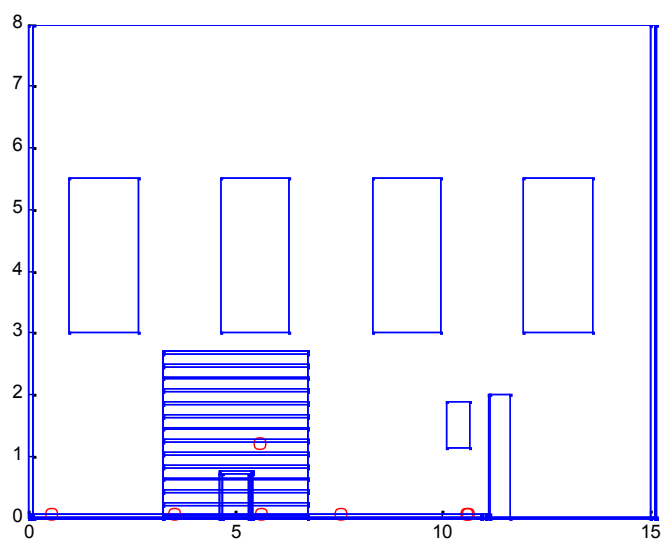
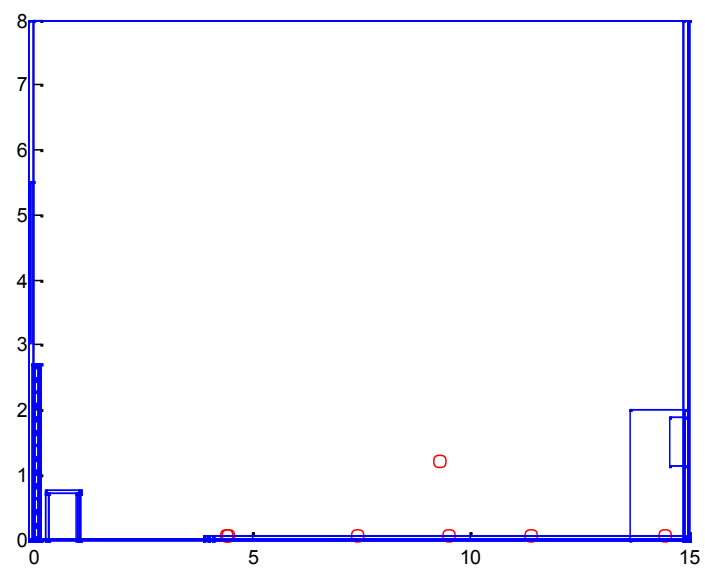
	Medidas en el cuerpo dentro del tatami (De frente)			
Posición	Pecho encima ropa	Pecho debajo ropa	Espalda encima ropa	Espalda debajo ropa
Paquetes recibidos	99743	99548	99683	99544
RSSI	-59.75	-61.18	-67.55	-67.33
PER	0.257	0.452	0.317	0.456
Potencia analizador (dBm)	-67.12	-54.83	-65.83	-66.3

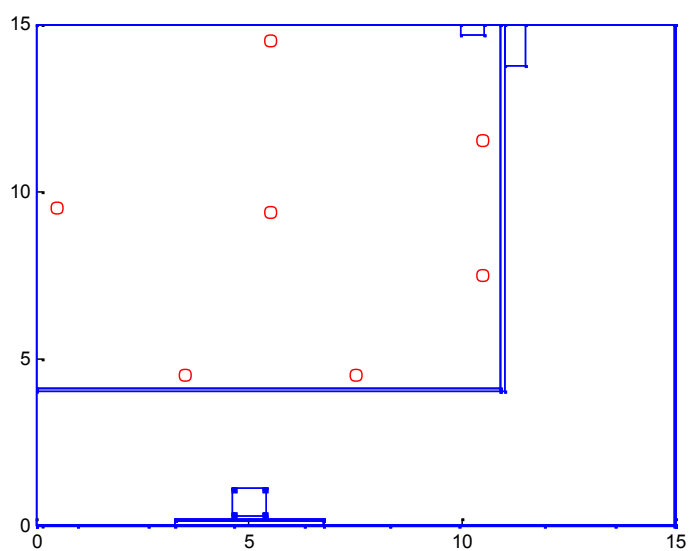
	Medidas en el cuerpo dentro del tatami (De frente)			
Posición	Brazo izquierdo encima ropa	Brazo izquierdo debajo ropa	Pierna izquierda encima ropa	Pierna izquierda debajo ropa
Paquetes recibidos	99935	99942	98975	99935
RSSI	-49.42	-48.77	-59.35	-52.43
PER	0.065	0.058	1.025	0.065
Altura emisor (cm)	125	125	40	40

Medidas en el cuerpo dentro del tatami (tumbado)		
Posición	Pecho boca arriba encima ropa	Espalda boca arriba encima ropa
Paquetes recibidos	99961	99554
RSSI	-44.51	-66.29
PER	0.039	0.446

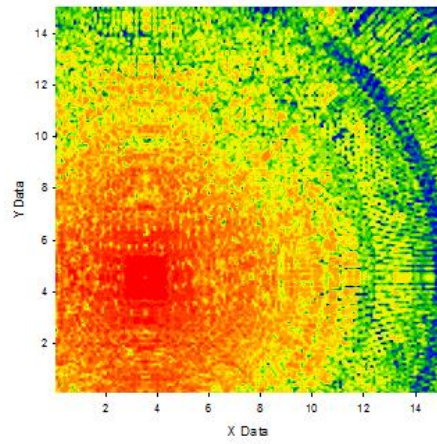




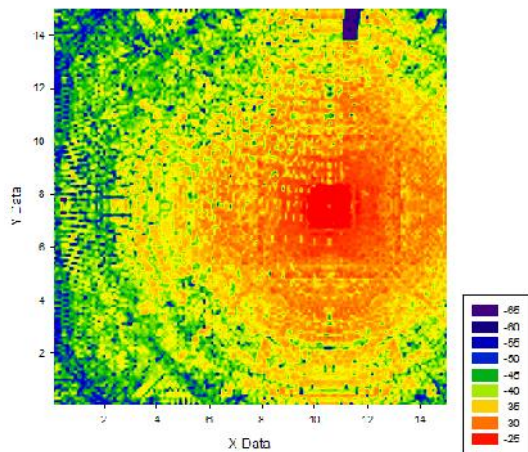




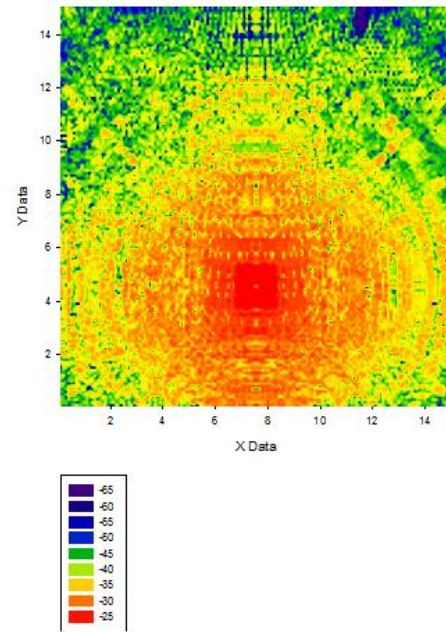
Contour Graph 2



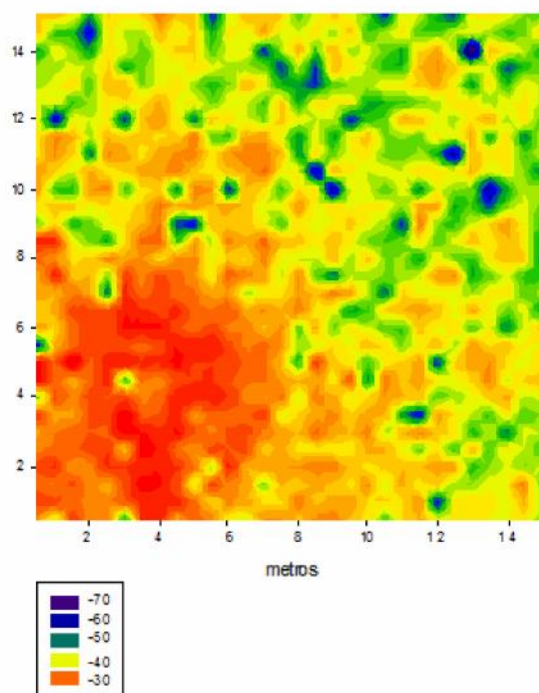
Contour Graph 1



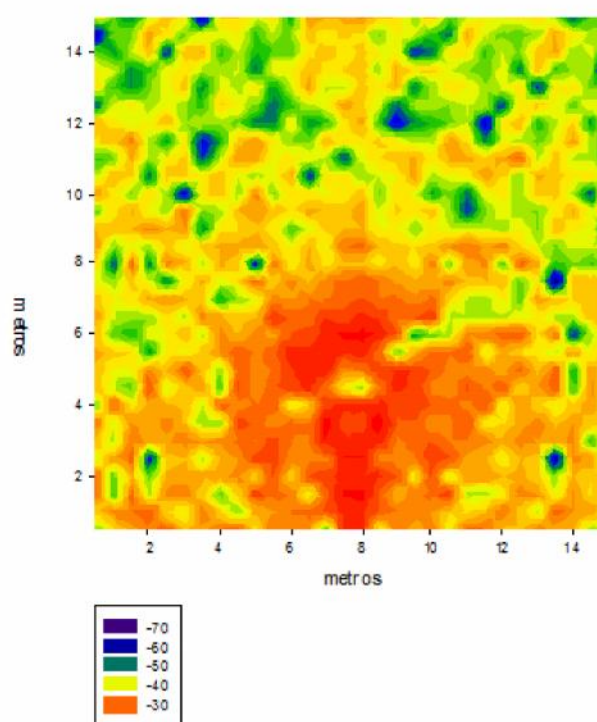
Contour Graph 3



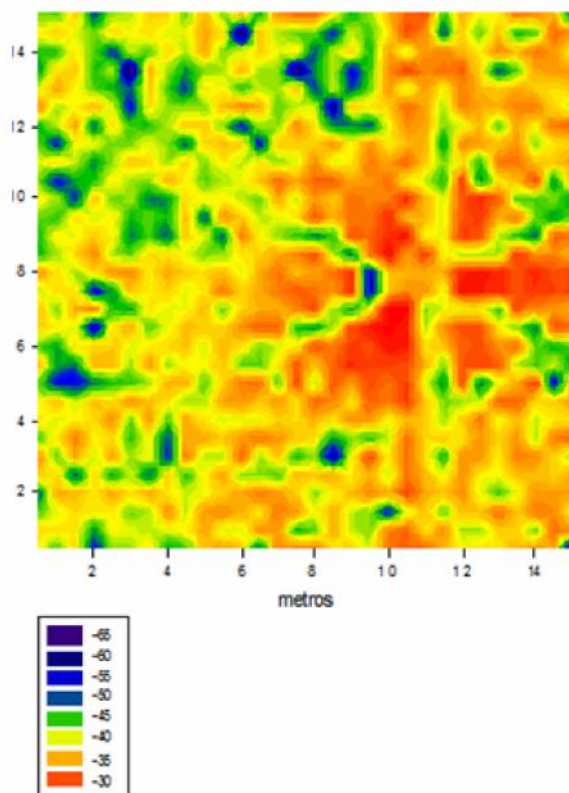
Posición 1 con cubos de 50 cm



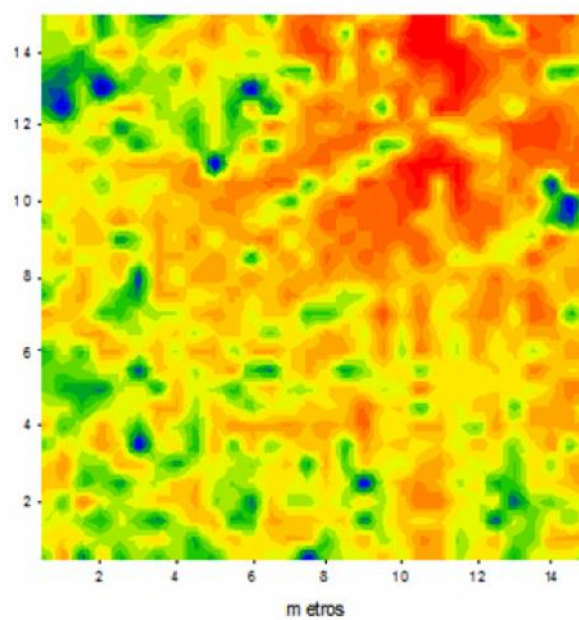
Posición 2 con cubos de 50 cm



Posición 3 con cubos de 50 cm

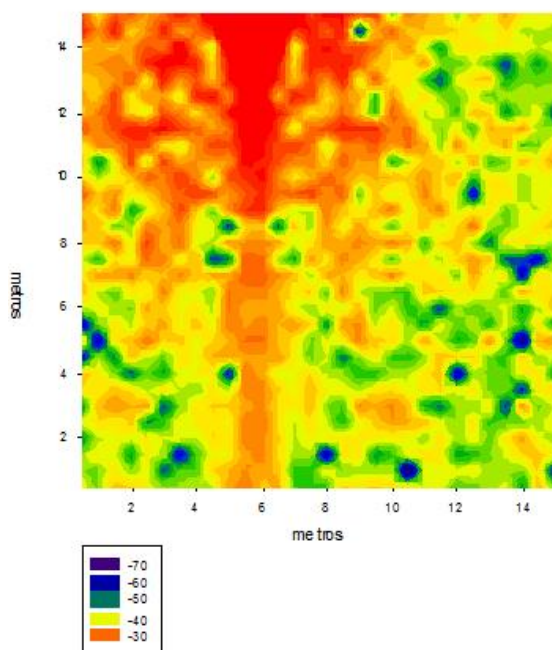


Posición 4 con cubos de 50 cm

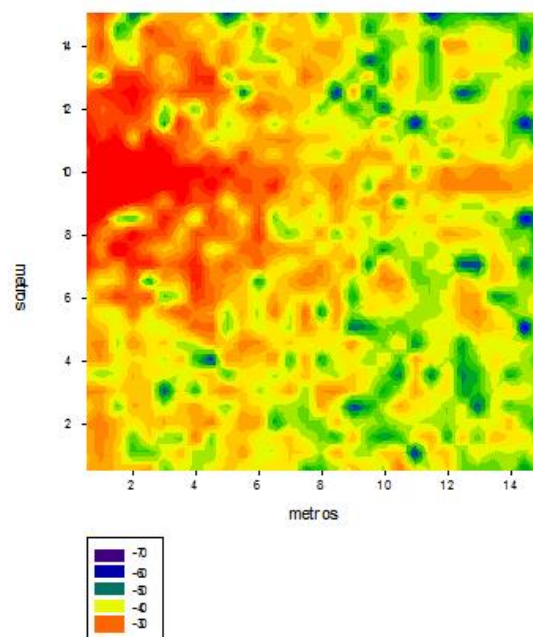




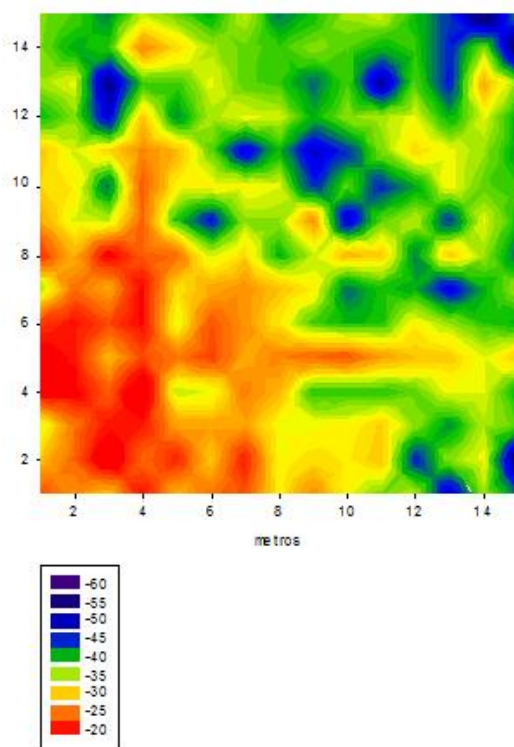
Posición 5 con cubos de 50 cm



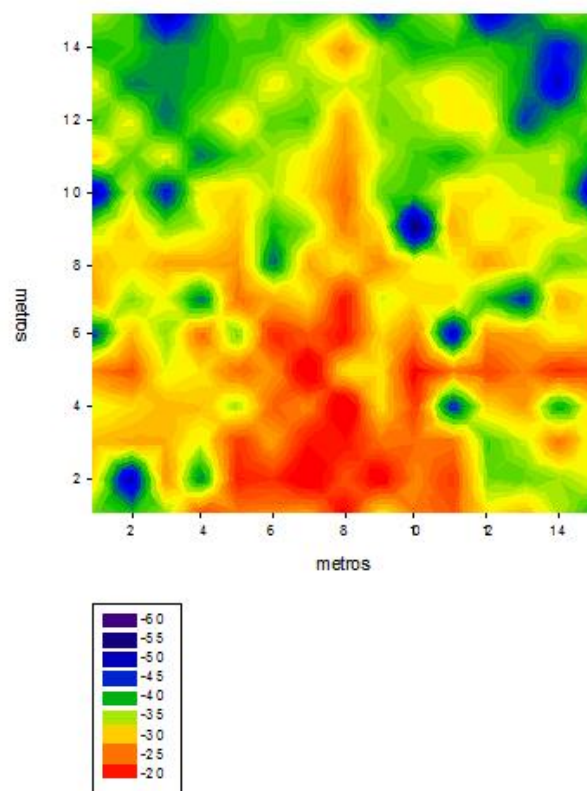
Posición 6 con cubos de 50 cm



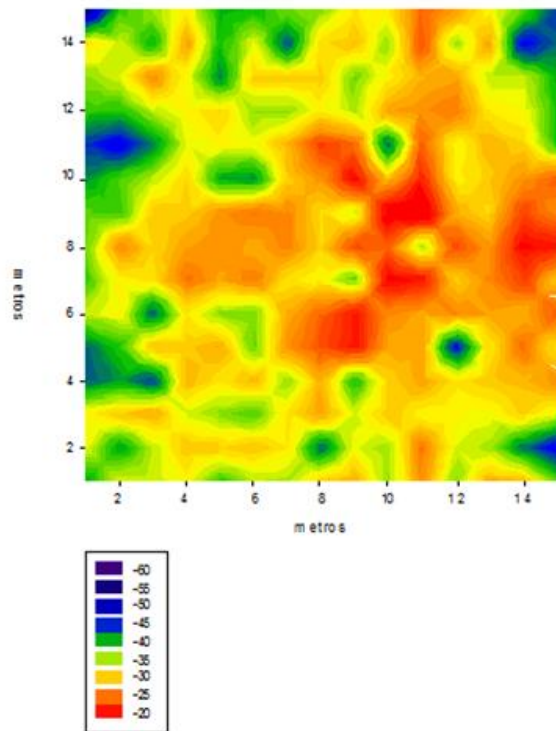
Posición 1 con cubos de 100 cm



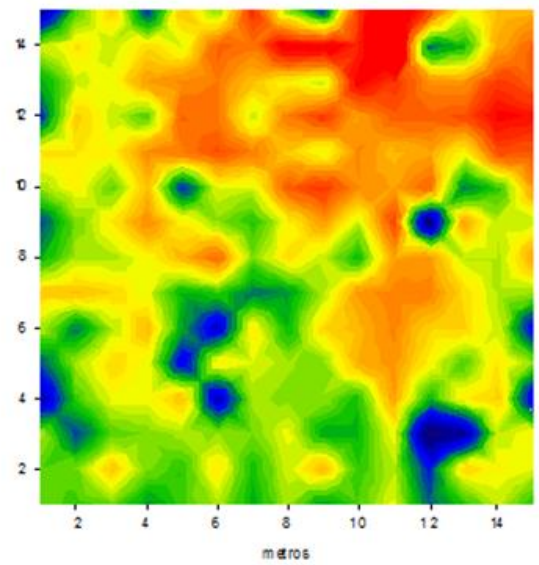
Posición 2 con cubos de 100 cm



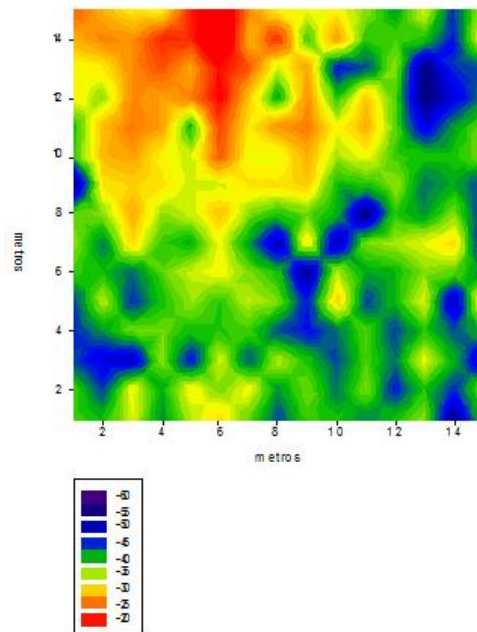
Posición 3 con cubos de 100 cm



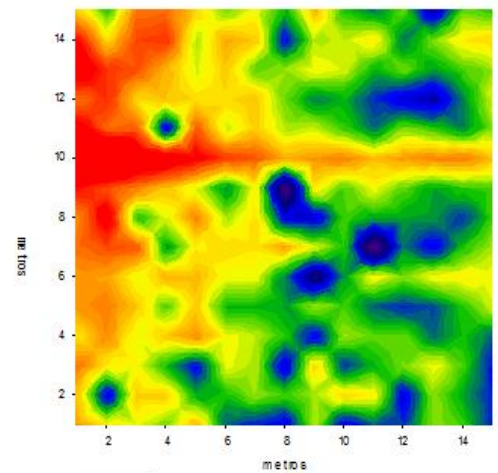
Posición 4 con cubos de 100 cm

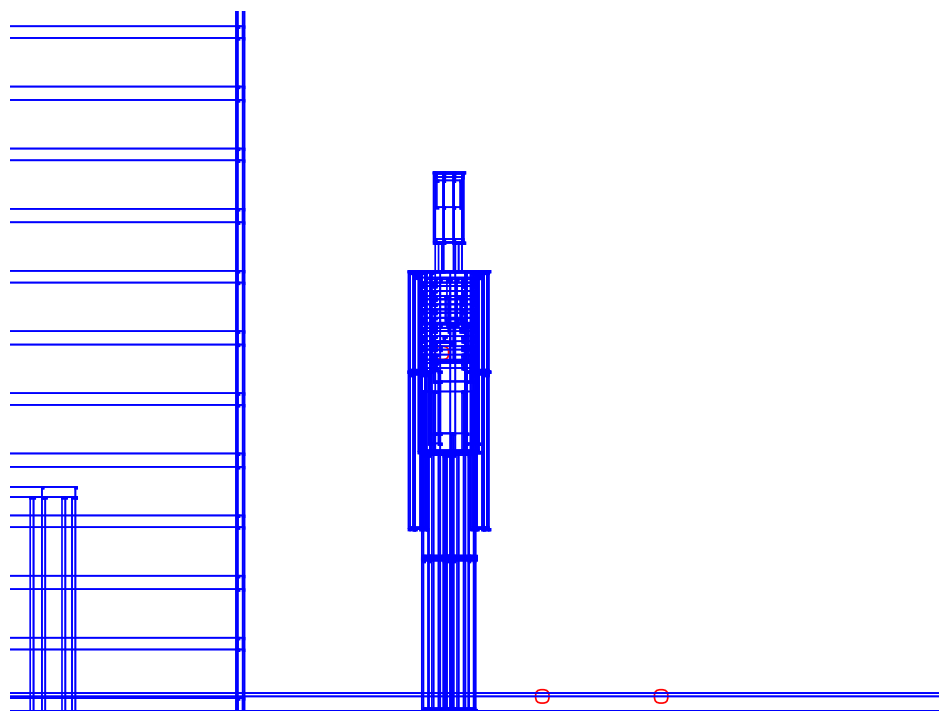
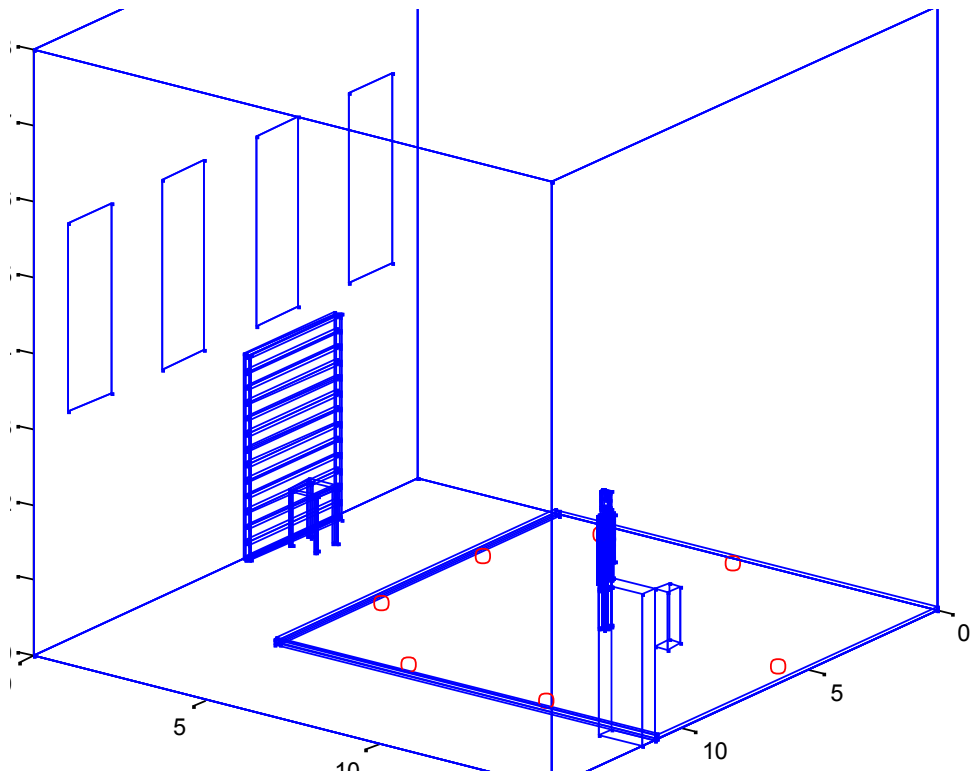


Posición 5 con cubos de 100 cm



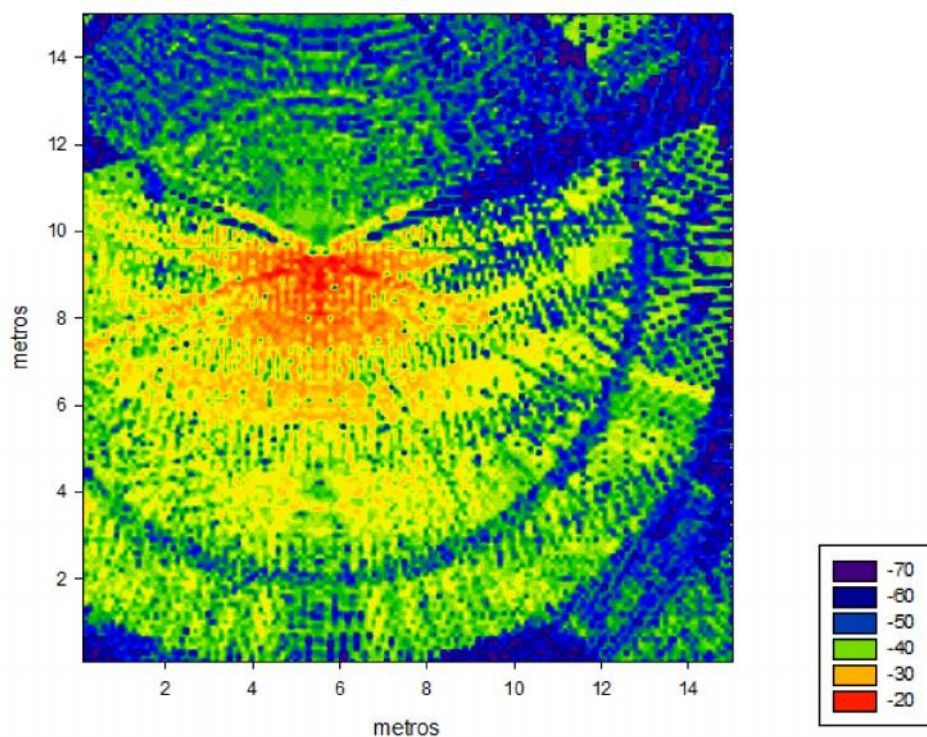
Posición 6 con cubos de 100 cm



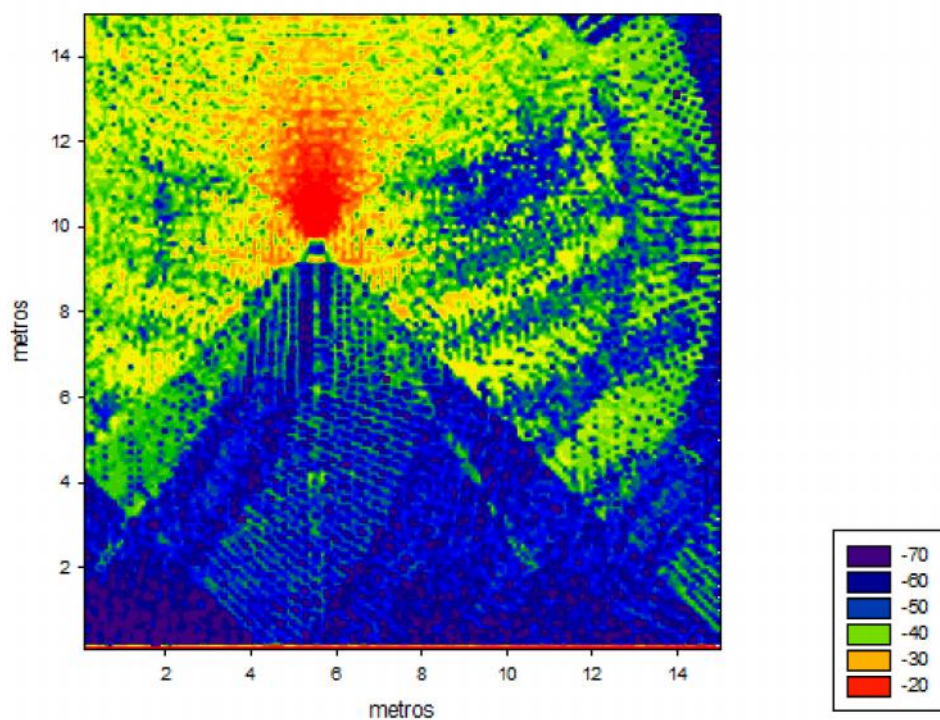




gráfica de cobertura con cubos de 10cm y transmisor en el pecho

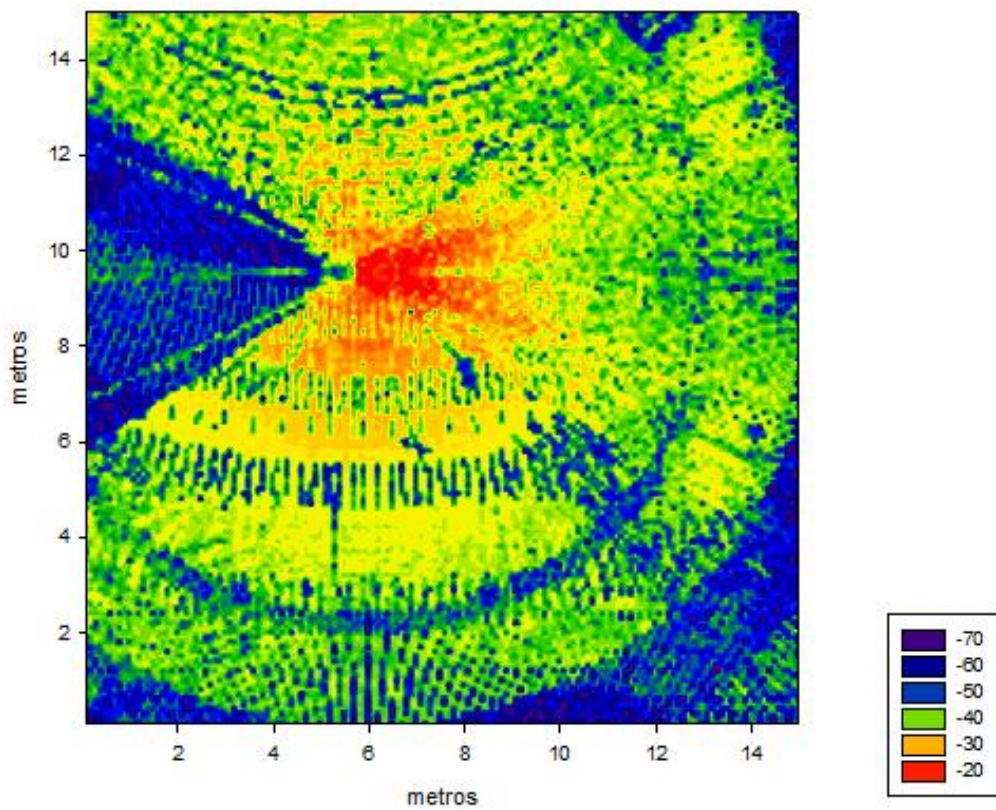


gráfica de cobertura con cubos de 10cm y transmisor en la espalda

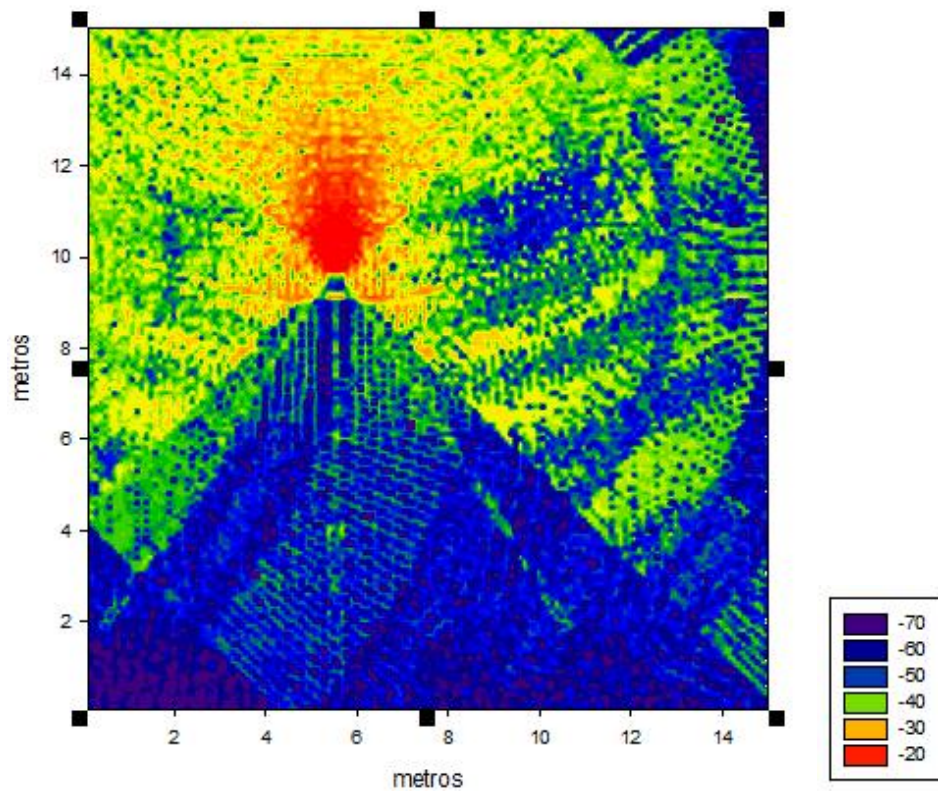




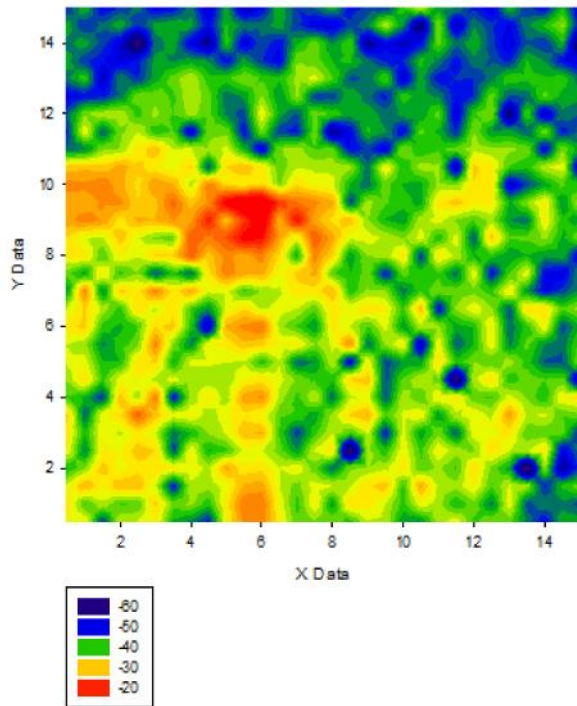
gráfica de cobertura con cubos de 10cm y transmisor en el brazo



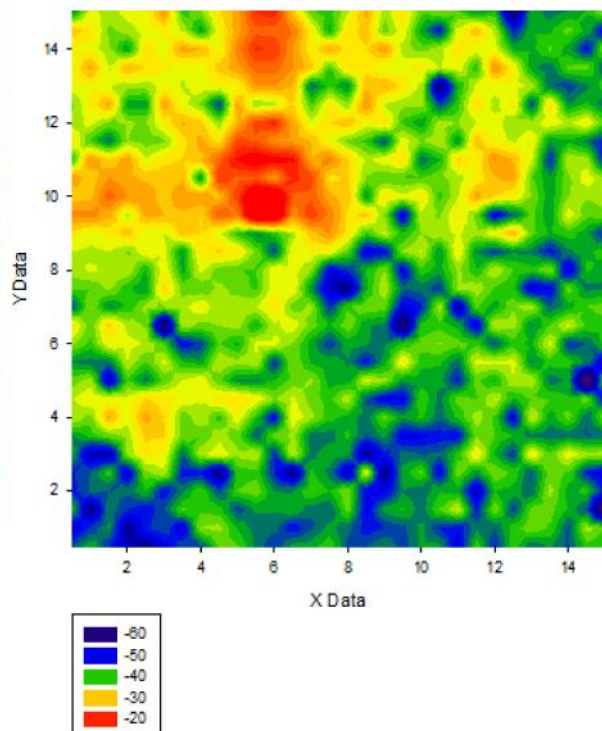
gráfica de cobertura con cubos de 10cm y transmisor en la piern



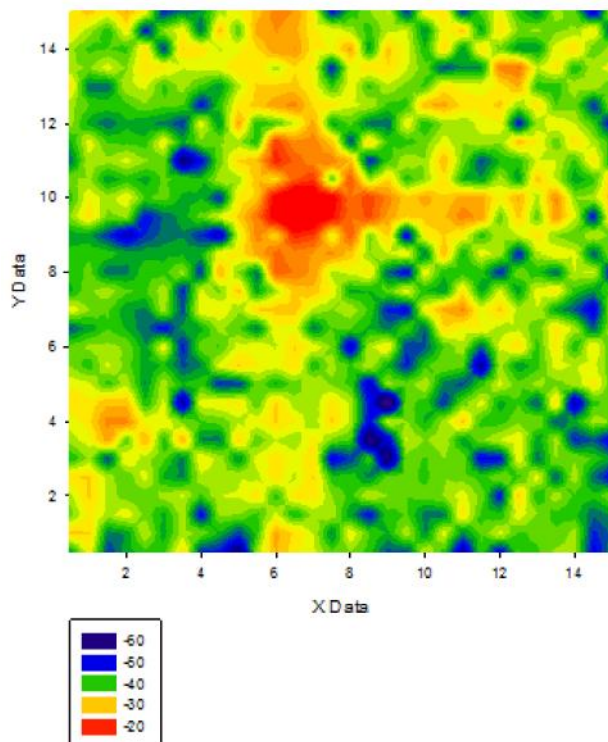
Pecho con cubos de 50cm



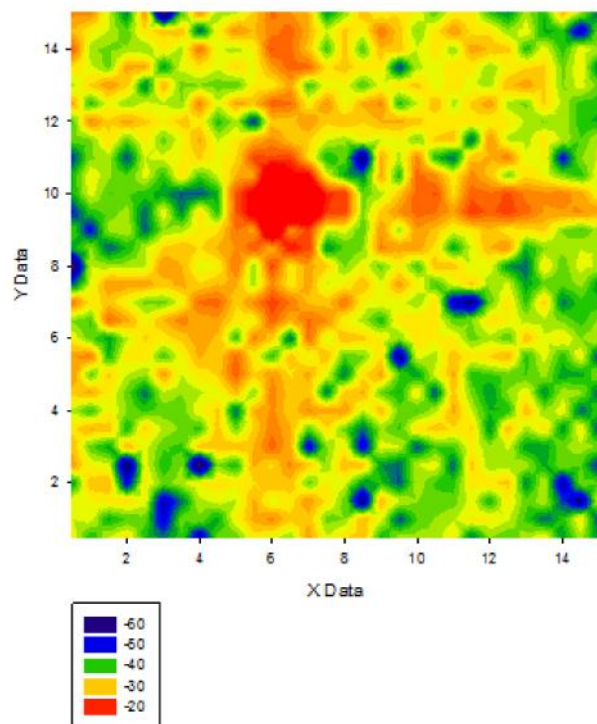
Espalda con cubos de 50cm



Brazo con cubos de 50cm

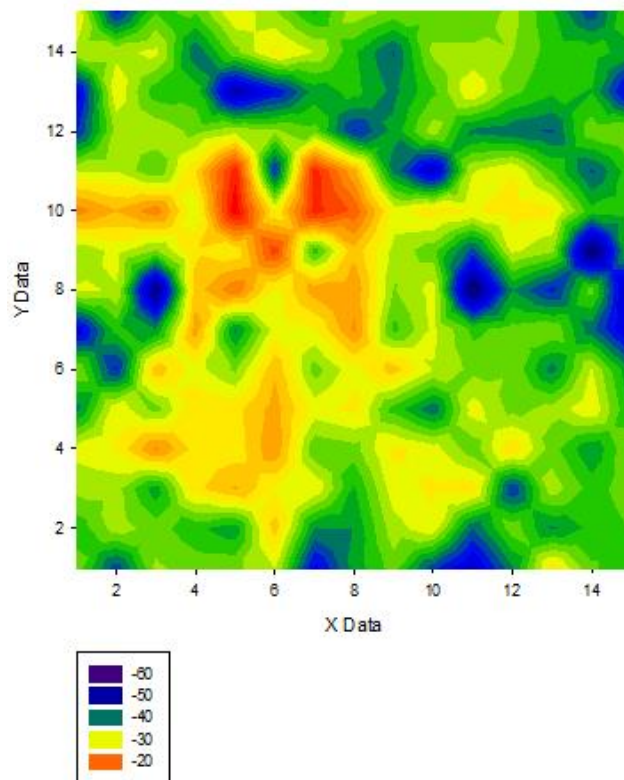


Pierna con cubos de 50 cm

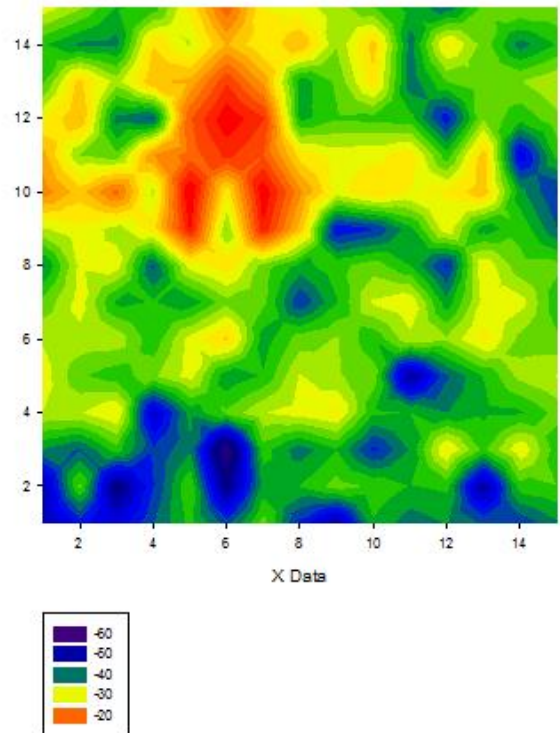




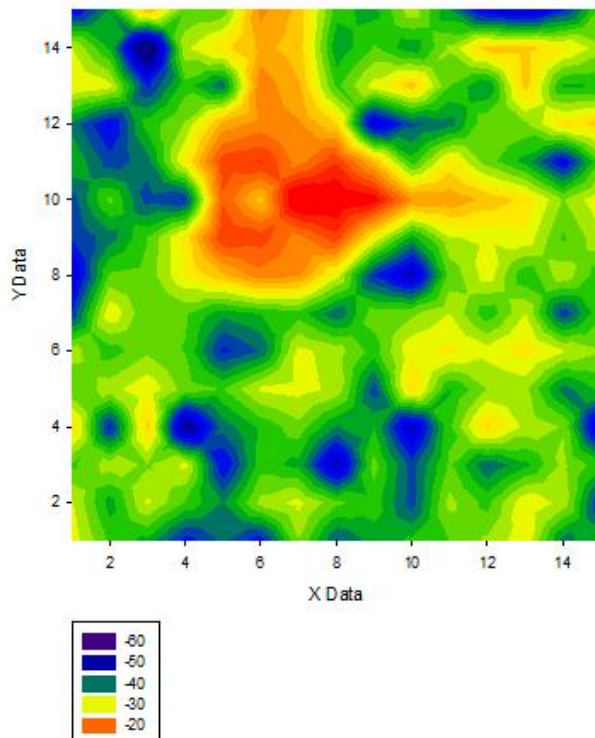
Gráfica con emisor en el pecho (cubos de 100cm)



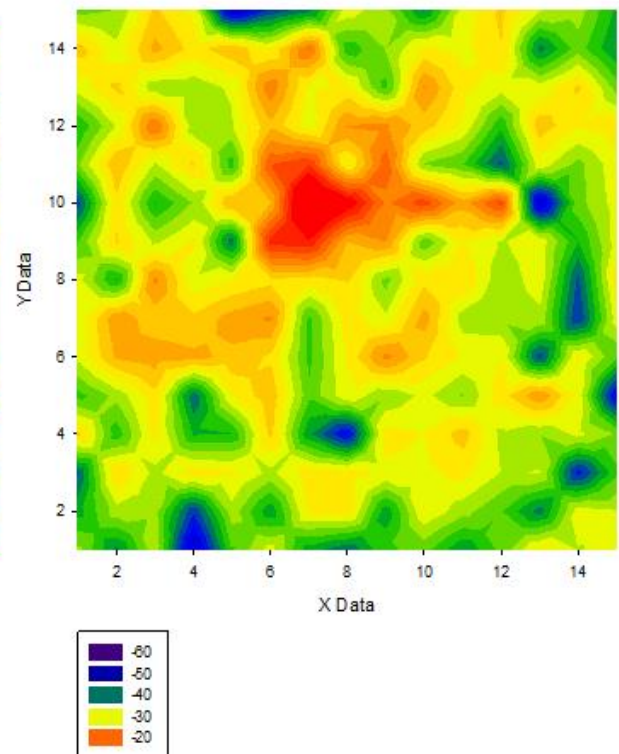
Gráfica con emisor en la espalda (cubos de 100 cm)

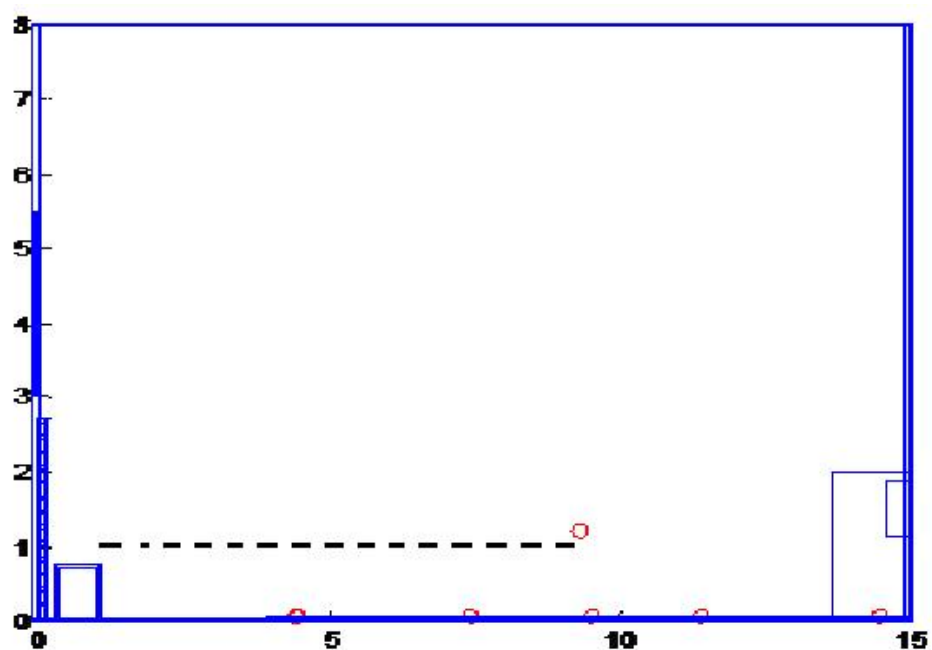


Gráfica con emisor en el brazo (cubos de 100 cm)

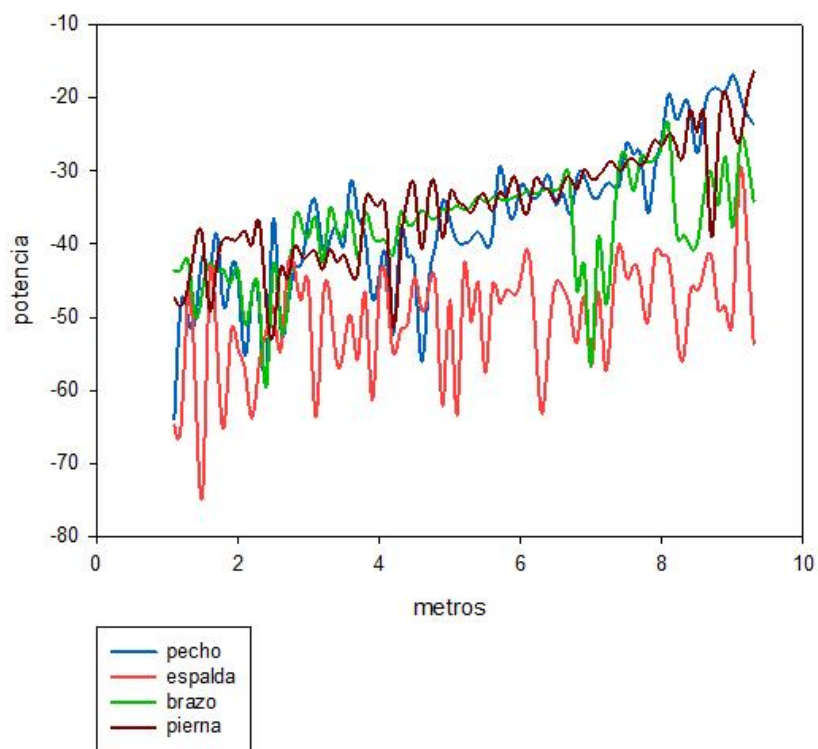


Gráfica con emisor en la pierna (cubos de 100 cm)

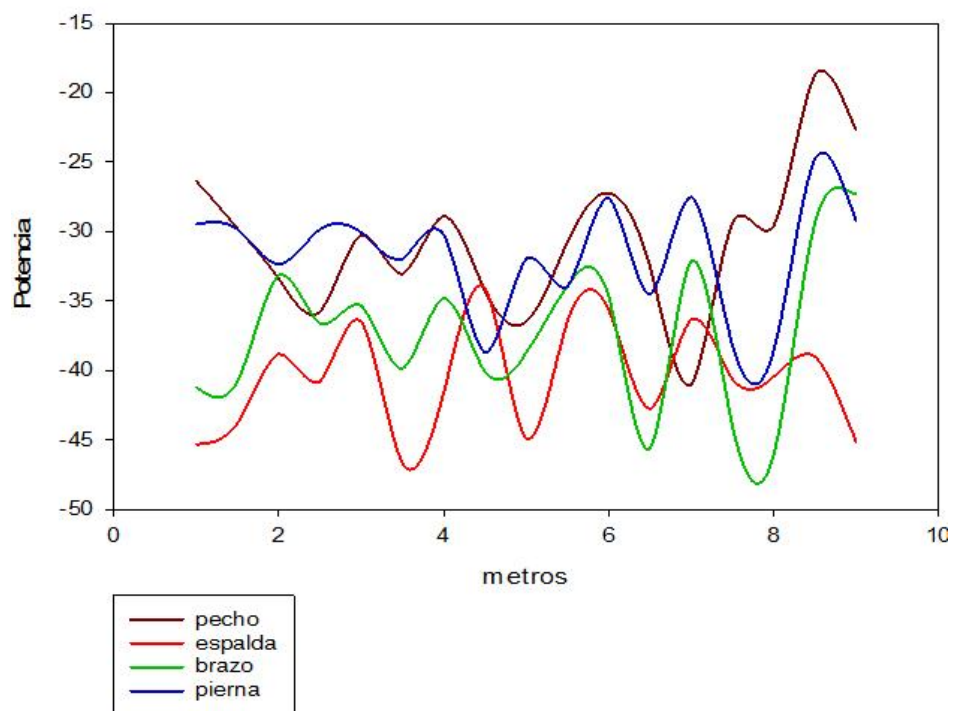




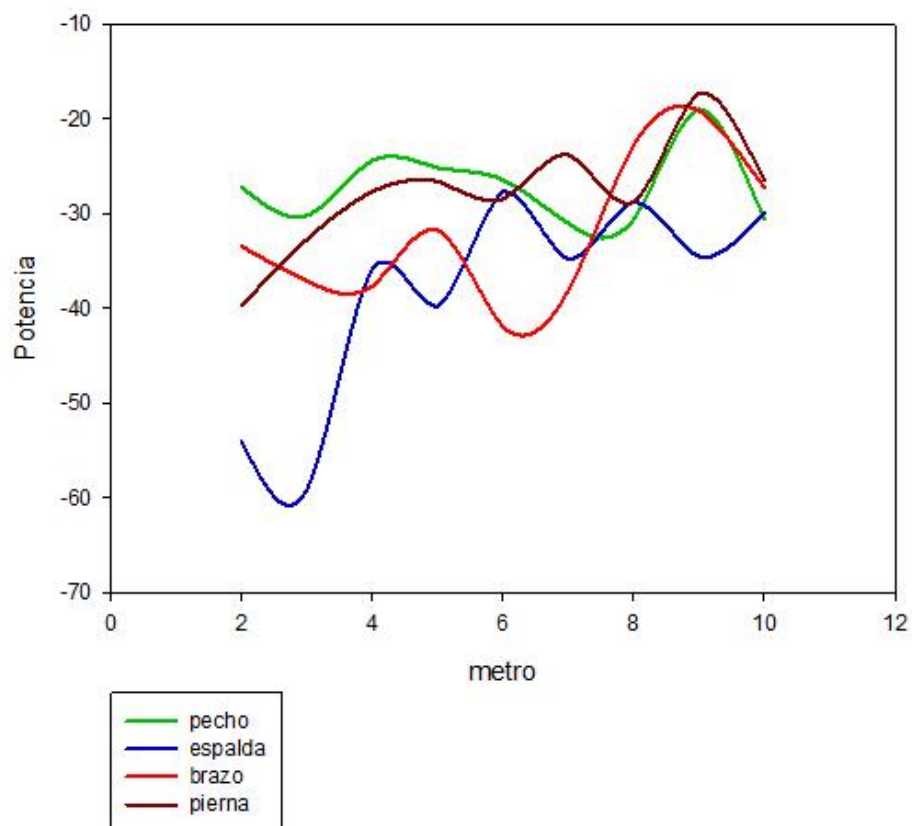
comparación de trayectos con cubos de 10 cm



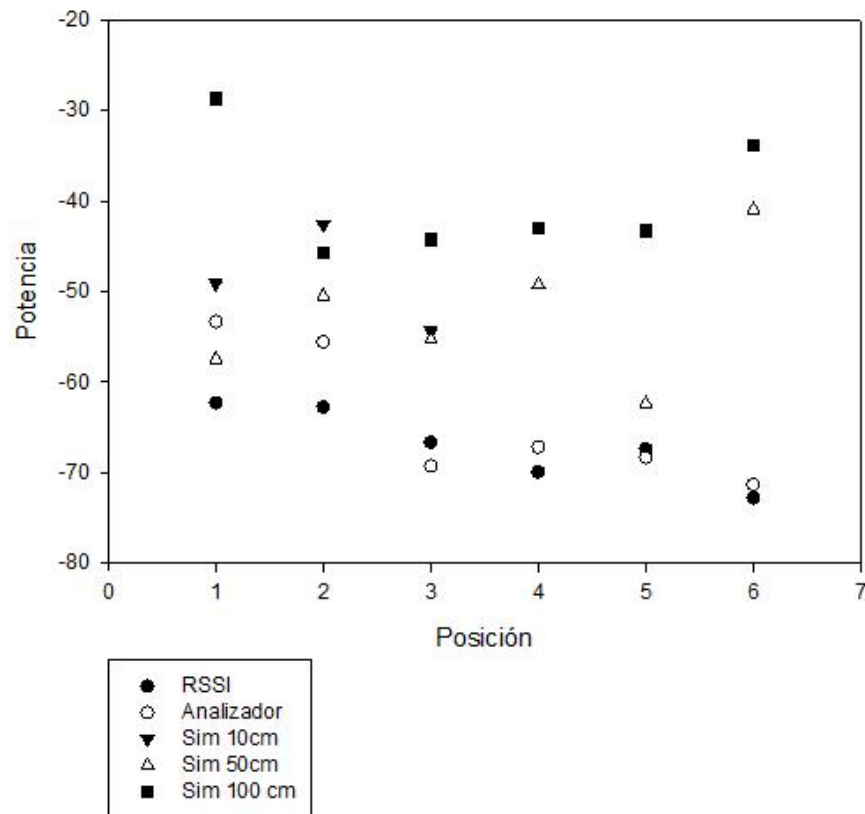
### comparación de trayectos con cubos de 50 cm



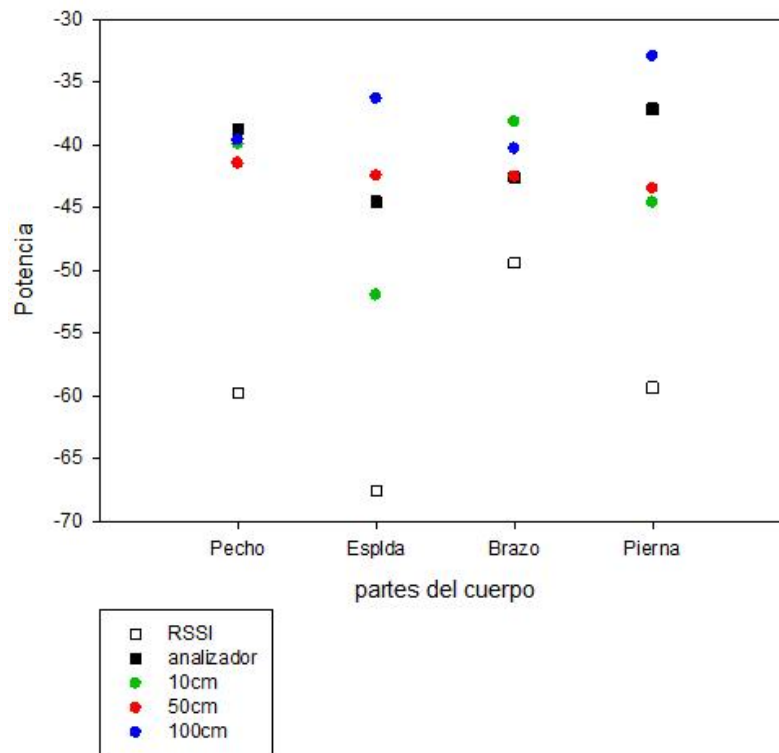
### comparación de trayectos con cubos de 100 cm



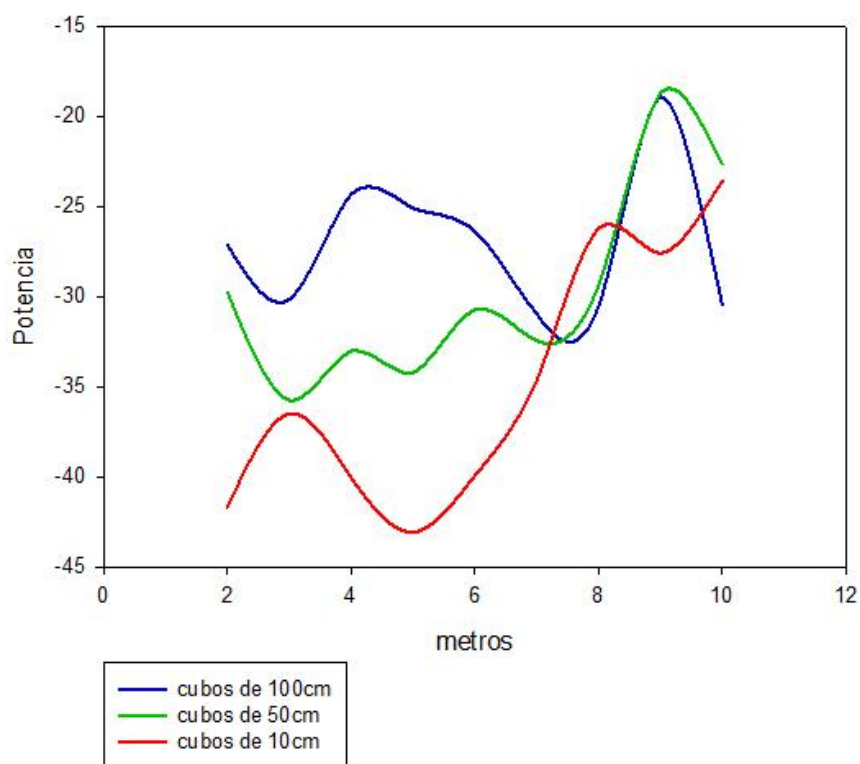
## Gráfica de potencia en el receptor desde los distintos puntos del perímetro



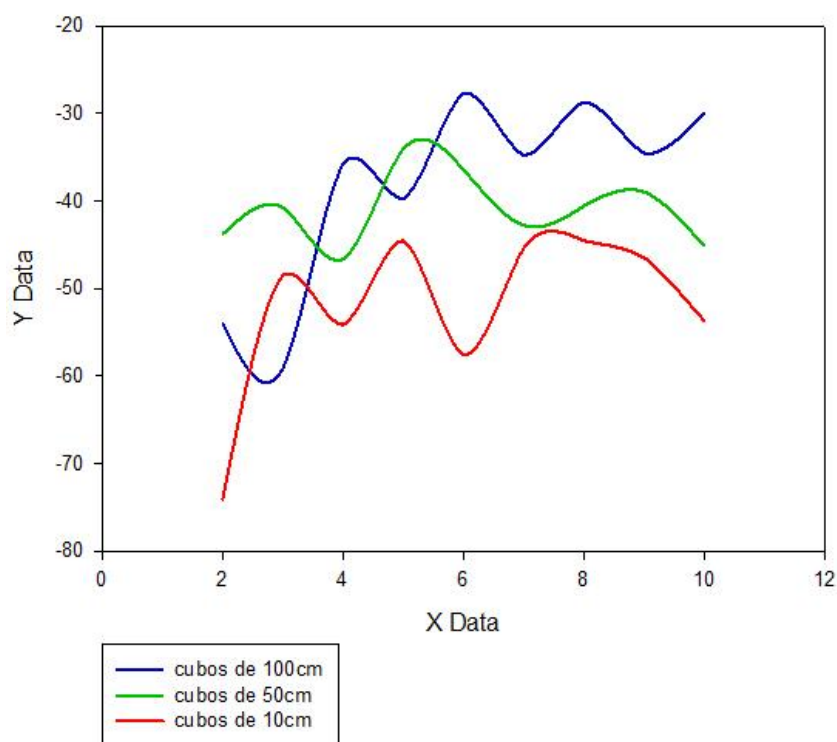
## Potencia en Rx. con el Tx. en las diferentes partes del cuerpo



### Comparación de diferentes tamaños de cubo para el pecho

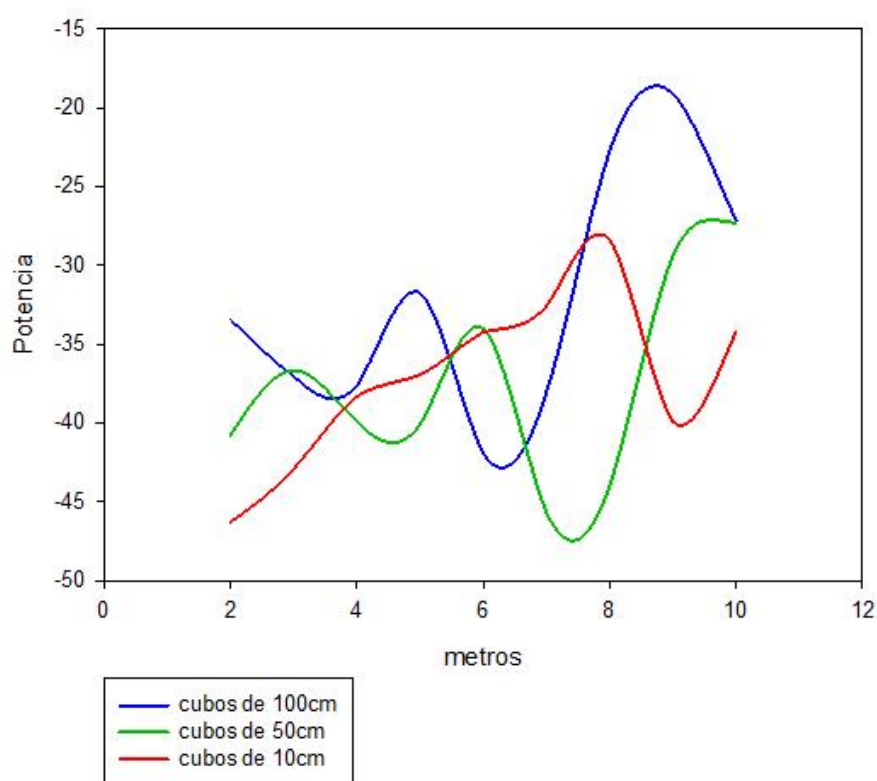


### Comparación de diferentes tamaños de cubo para la espalda

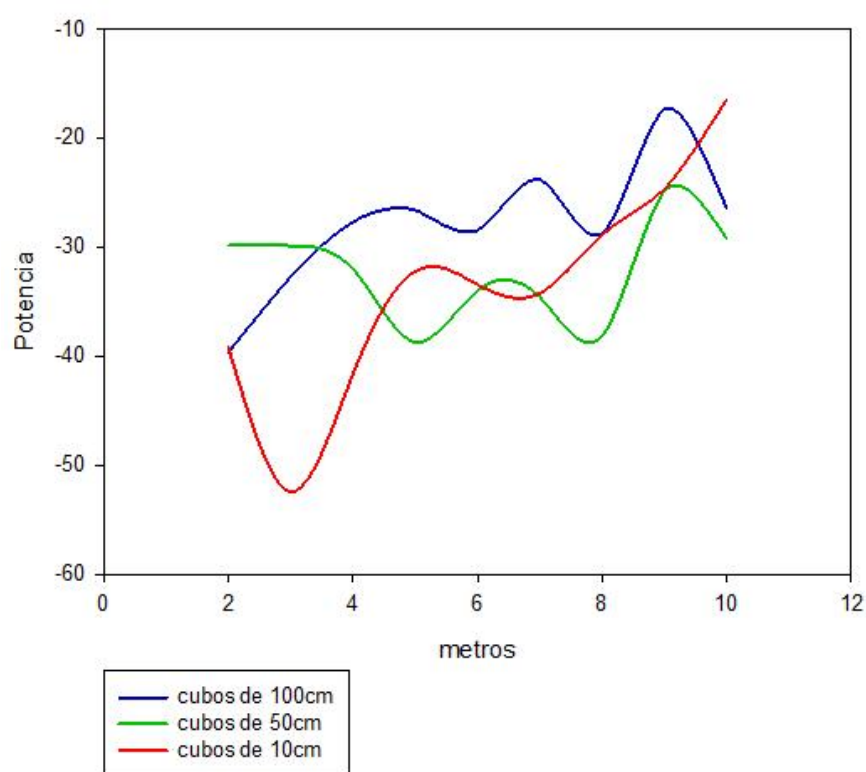




### Comparación de diferentes tamaños de cubo para el brazo



### Comparación de diferentes tamaños de cubo para la pierna





#### 4.1.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En las gráficas anteriores podemos ver que existen tres factores principales que afectan a la transmisión: La distancia, El cuerpo humano y la polaridad.

- En las gráficas de cobertura se observa perfectamente como conforme nos alejamos de la antena transmisora, la potencia disminuye.
- Observando las gráficas 4.4 podemos diferenciar perfectamente la posición del transmisor y del cuerpo humano, puesto que la absorción de este es muy alta. Además en la gráfica 4.7 se ve como la gráfica con el transmisor en la espalda esta en casi todos los casos por debajo de las demás gráficas.
- La polaridad de la antena cuando esta se encuentra sobre el tatami es la misma que la polaridad de la antena receptora, mientras que en el cuerpo humano la polaridad entre transmisor y receptor esta invertida.

#### 4.2 ESTUDIO DE LA SEGUNDA SALA

##### 4.2.1 ESCENARIO

Este segundo escenario es la sala de deportes de contacto del campus de Arrosadía de la Universidad Pública de Navarra.

medidas:

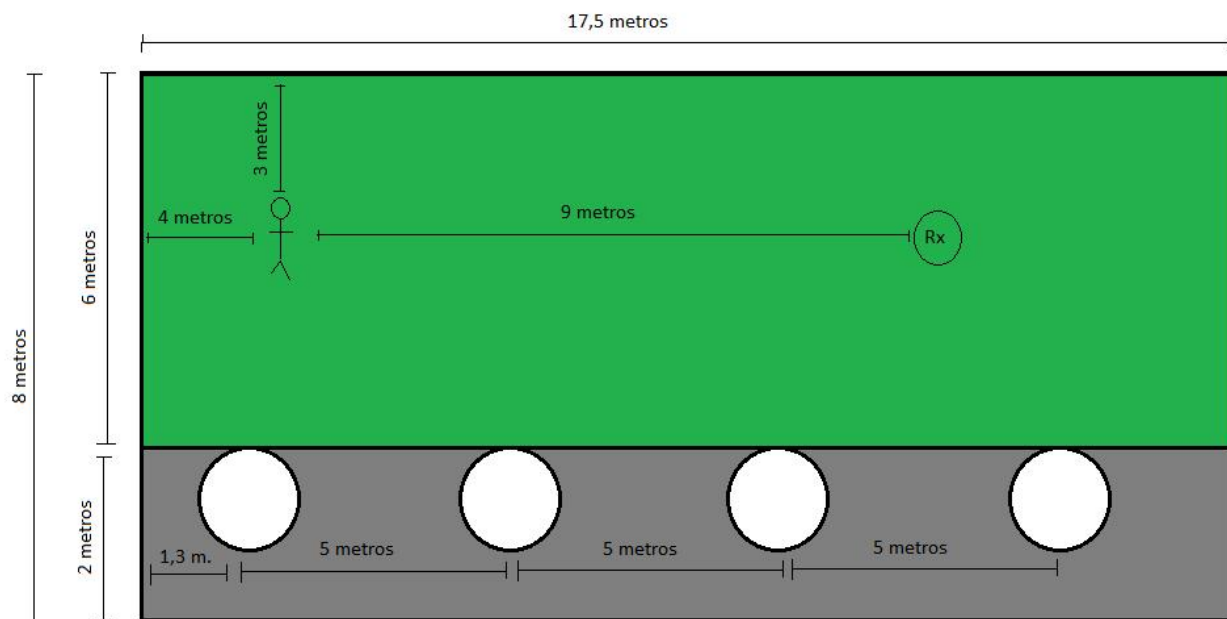
- Largo x ancho x alto: 17,5m. x 8m. x 4m.

objetos presentes:

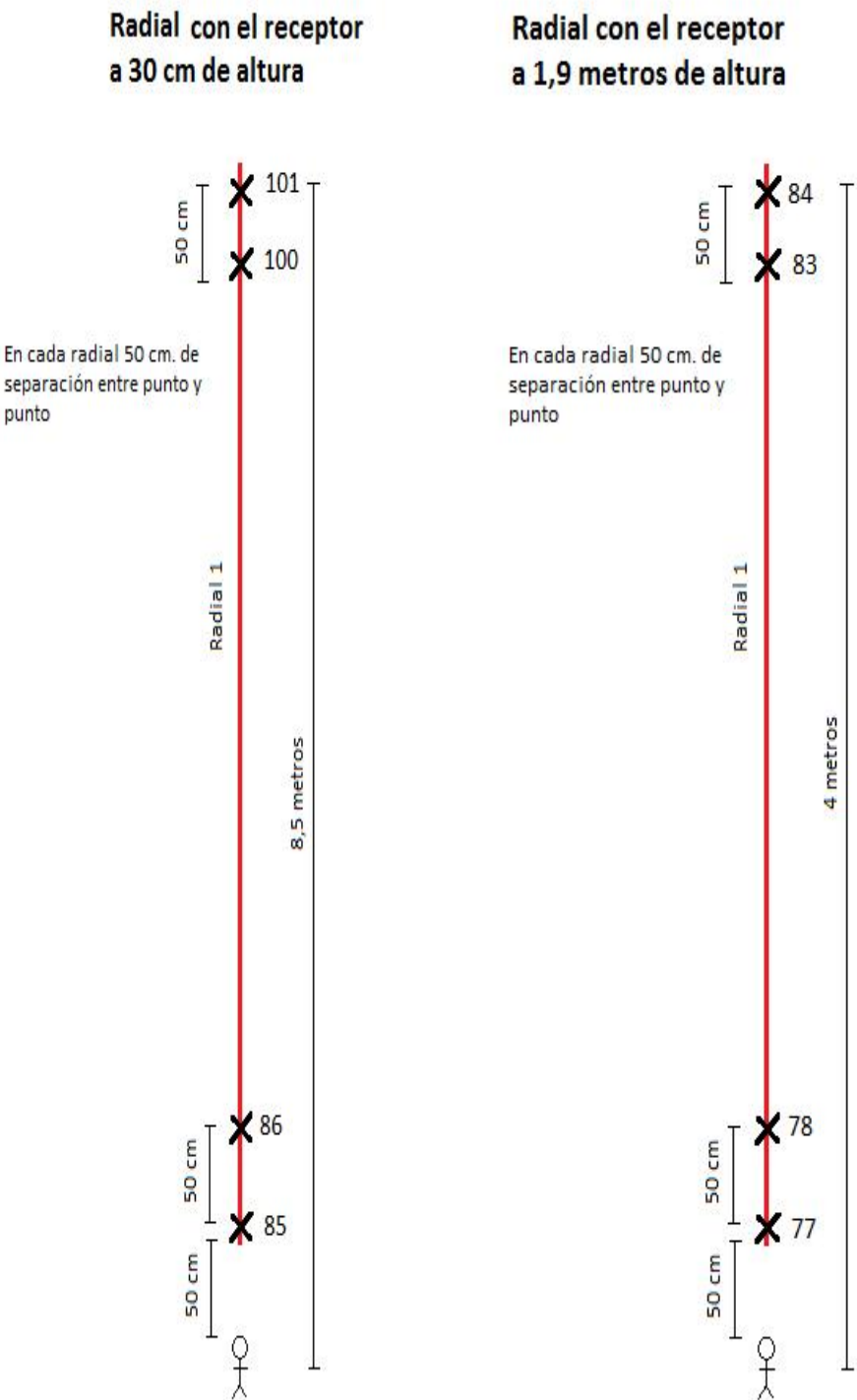
- tatami
- columnas
- ventanal

	Alto (m)	Largo(m)	Ancho(m)
Tatami	5	17,5	0.05
columnas	4	1	1
ventanal	17.5	350	0.05

Tabla 4.6

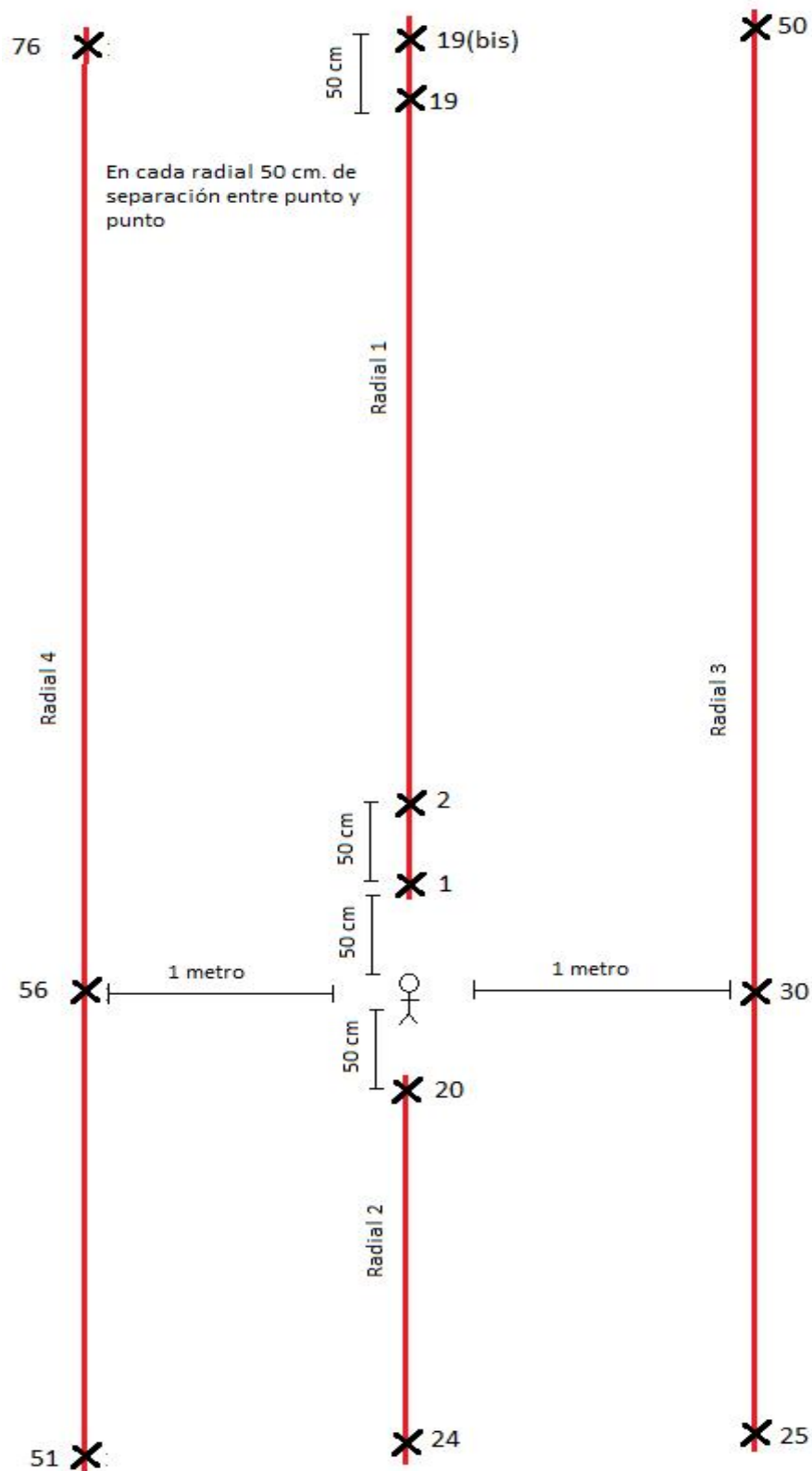


medidas de la radial uno por ser la radial principal que va desde el transmisor hasta el receptor en línea recta.

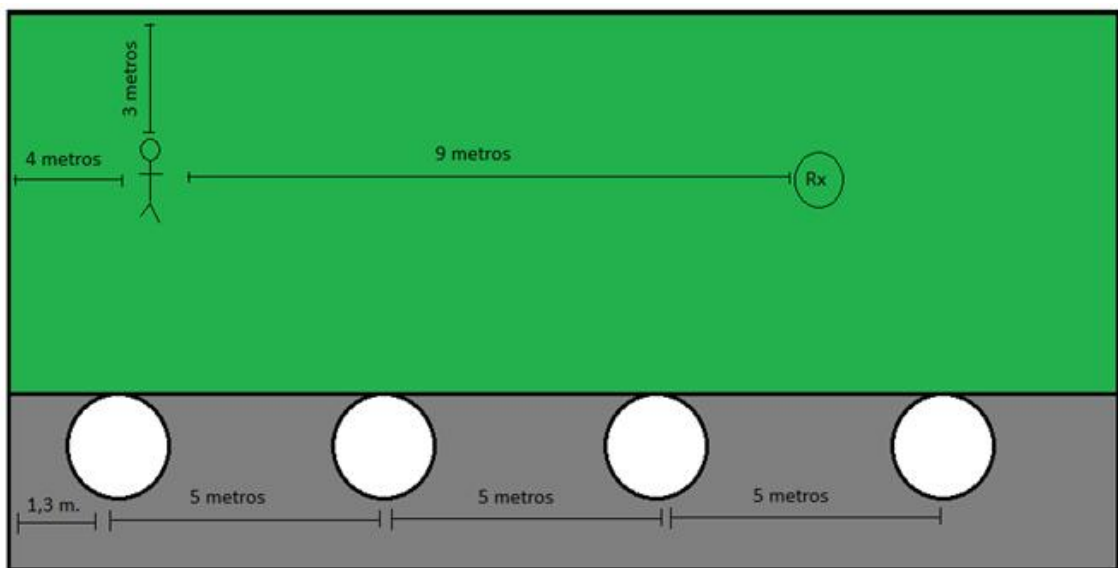


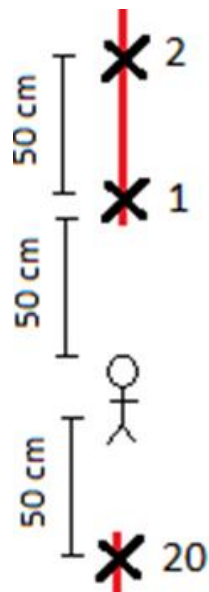
Imagenes 4.21

### Radiales con el receptor a 1,35 metros de altura



**Imagen 4.22**





En la tabla 4.7 se observan los datos de potencia obtenidos en cada uno de los puntos de medida:

Medidas		
	Posición	Potencia (dB)
Radial 1 altura a 1,35 metros	1	-38,99
	2	-44,97
	3	-41,55
	4	-50,75
	5	-52,17
	6	-50,09
	7	-47,94
	8	-49,94
	9	-50,02
	10	-50,87
	11	-52,26
	12	-48,67
	13	-54,64
	14	-54,54
	15	-57,14
	16	-56,6
	17	-56,68
	18	-59,12
	19	-58,26
	19(bis)	-48,79
	Posición	Potencia 1
Radial 2 altura a 1,35 metros	20	-51,77
	21	-57,02
	22	-55,98
	23	-59,56
	24	-57,96
	Posición	Potencia 1
Radial 3 altura a 1,35 metros	25	-56,02
	26	-50,83
	27	-48,53
	28	-47,24
	29	-42,61
	30	-34,82
	31	-41,47
	32	-30,08
	33	-34,91
	34	-36,51
	35	-46,1

	36	-37,36
	37	-41,65
	38	-41,95
	39	-45,32
	40	-44,39
	41	-43,61
	42	-42,69
	43	-45,77
	44	-46,28
	45	-45,64
	46	-45,72
	47	-44,02
	48	-54,14
	49	-51,4
	50	-46,86
	Posición	Potencia 1
Radial 4 a 1,35 metros	51	-47,64
	52	-47,27
	53	-46,48
	54	-45,19
	55	-49,88
	56	-45,07
	57	-39,41
	58	-42,16
	59	-45,03
	60	-39,56
	61	-43,03
	62	-44,65
	63	-45,7
	64	-45,33
	65	-44,88
	66	-48,04
	67	-48,4
	68	-47,38
	69	-50,38
	70	-47,98
	71	-46,69
	72	-44,41
	73	-48,67
	74	-47,01
	75	-46,4
	76	-47,19
	Posición	Potencia 1

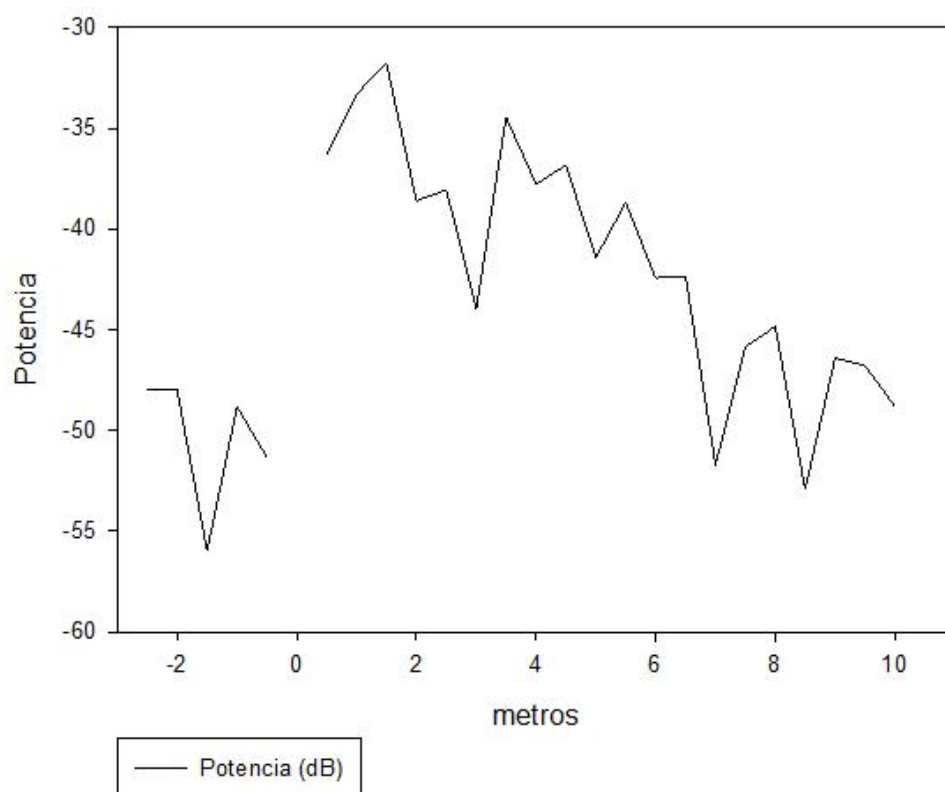


Radial a 1,9 metros	77	-44,04
	78	-46,69
	79	-49,36
	80	-51,66
	81	-52,99
	82	-50,13
	83	Ruido
	84	-50,92
	Posición	Potencia 1
Radial a 0,3 metros	85	-43,18
	86	-49,71
	87	-47,41
	88	-47,18
	89	-50,17
	90	-49,14
	91	-49,37
	92	-51,89
	93	-51,74
	94	-51,46
	95	-51,6
	96	-48,28
	97	-25,69
	98	-50,64
	99	-53,19
	100	-51,65
	101	-50,57

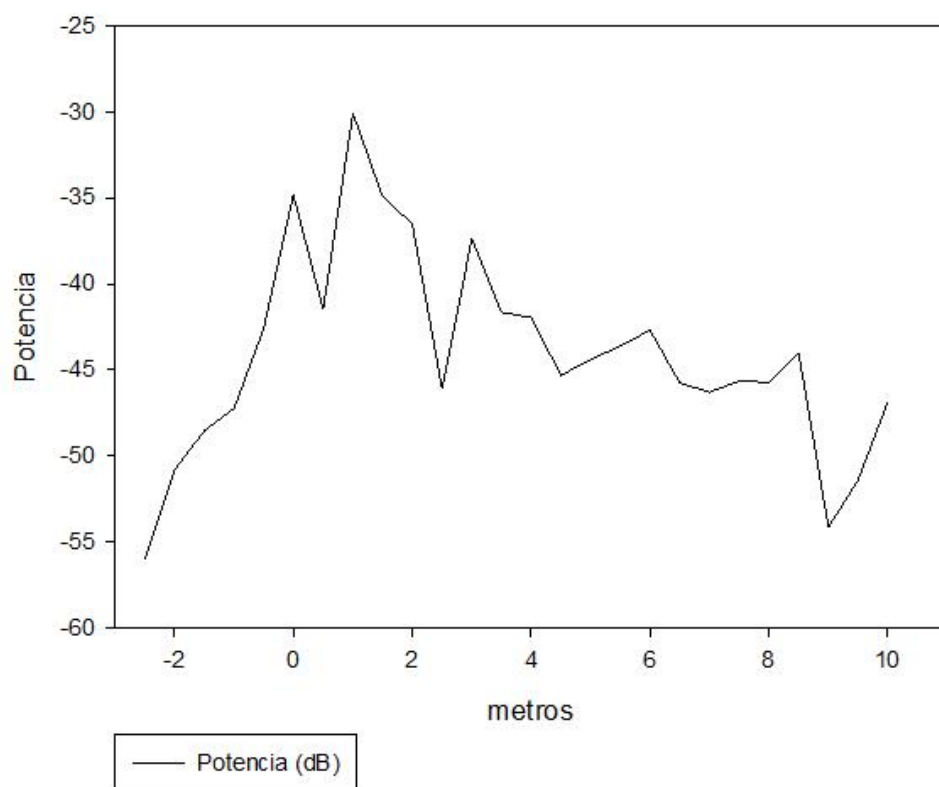
Tabla 4.7

Para facilitar la comprensión de los datos se han realizado gráficas de cada una de las radiales a las diferentes alturas. Las radiales a 1,9 y 0,3 metros tienen resultados de -60 dB en los puntos que nos daba una medida de ruido. En los datos observados anteriormente, las medidas de ruido no están incluidas y es por ello por lo que las radiales a estas alturas tienen menos medidas que la radial a 1,35 metros.

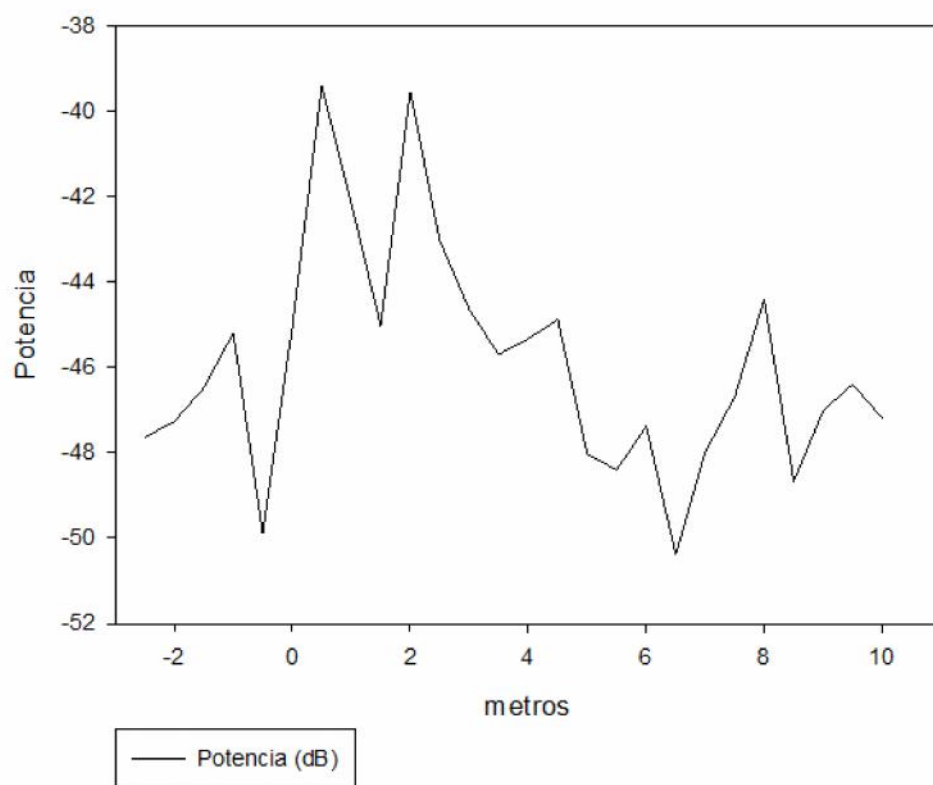
Radiales 1 y 2 a 1,35 m de altura



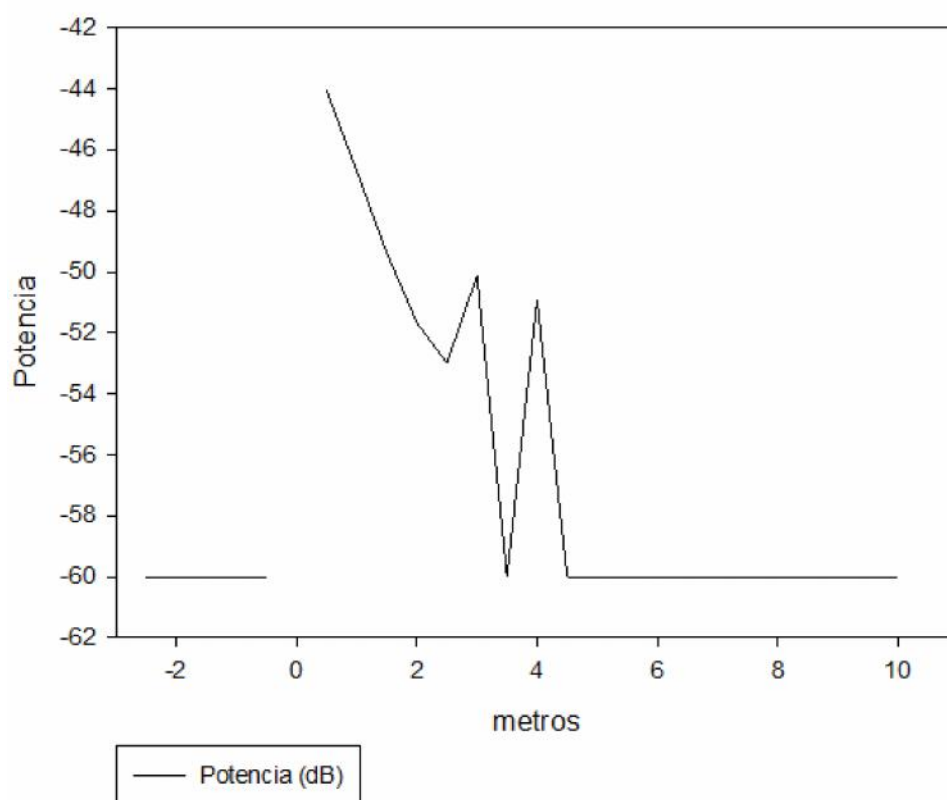
Radial 3 a 1,35 metros de altura



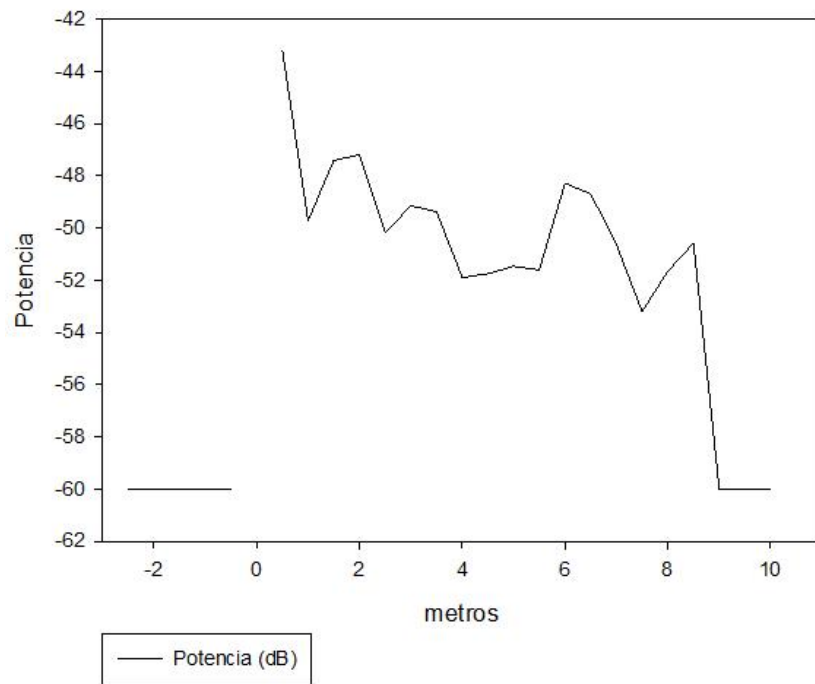
Radial 4 a 1,35 m de altura

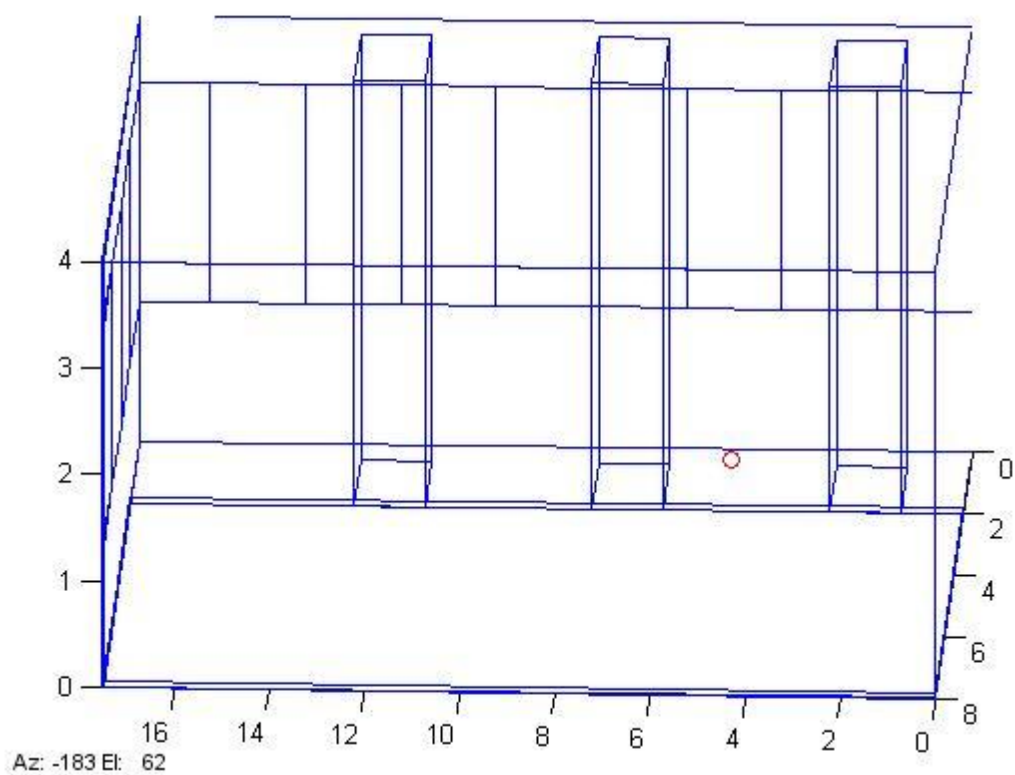
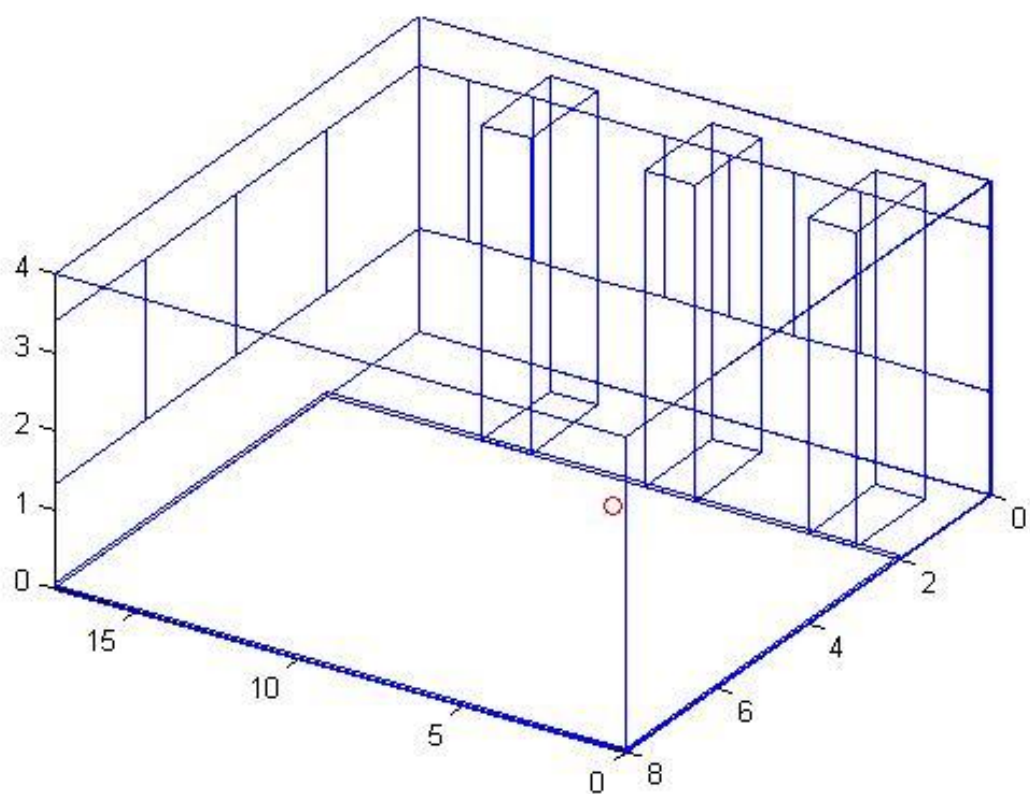


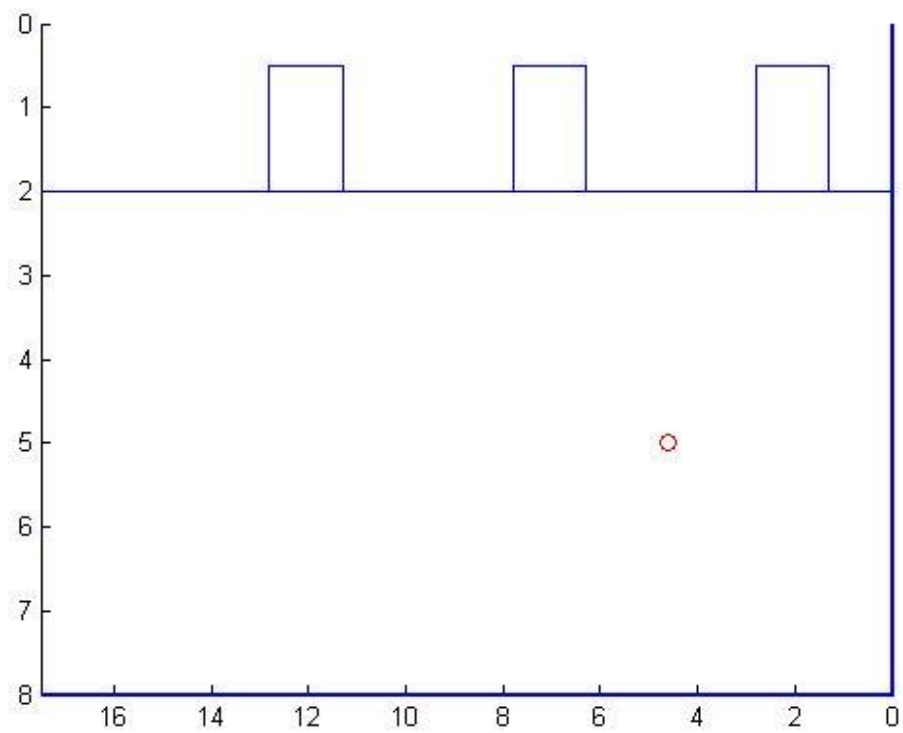
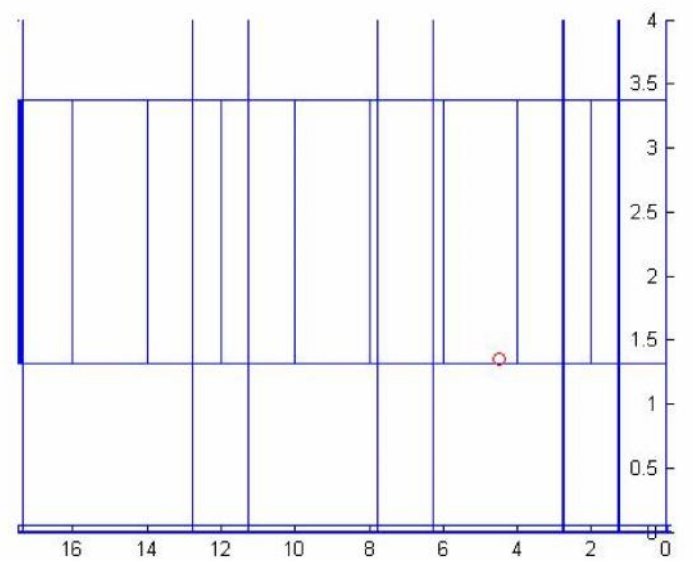
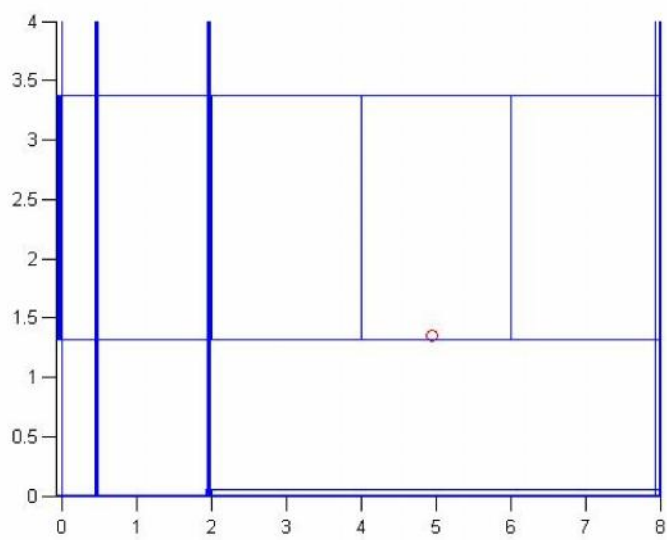
Radial a 1,9 m de altura



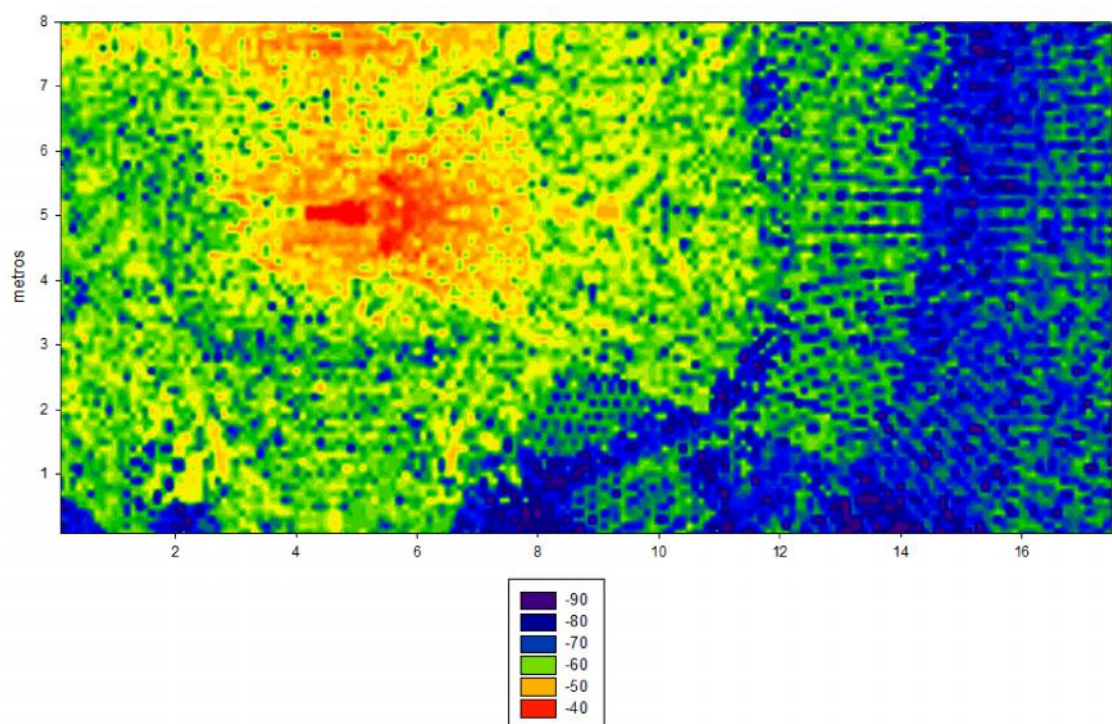
### Radial a 30 cm de altura





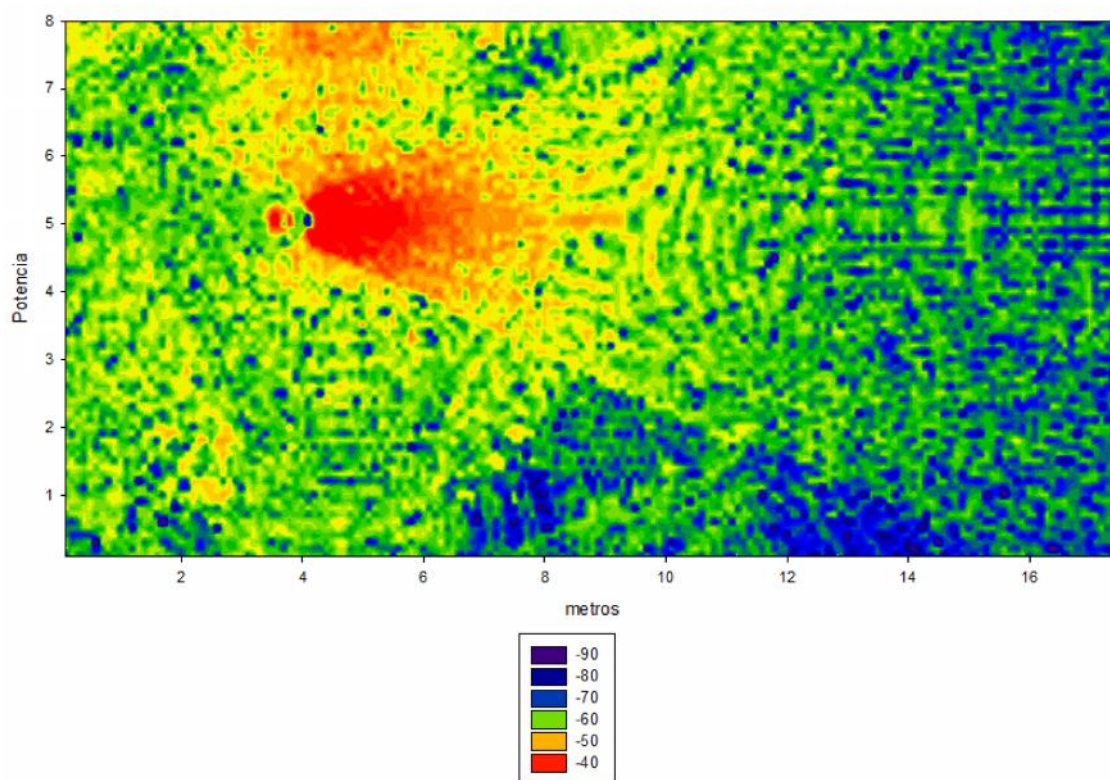


Gráfica de cobertura a 1,9 m de altura

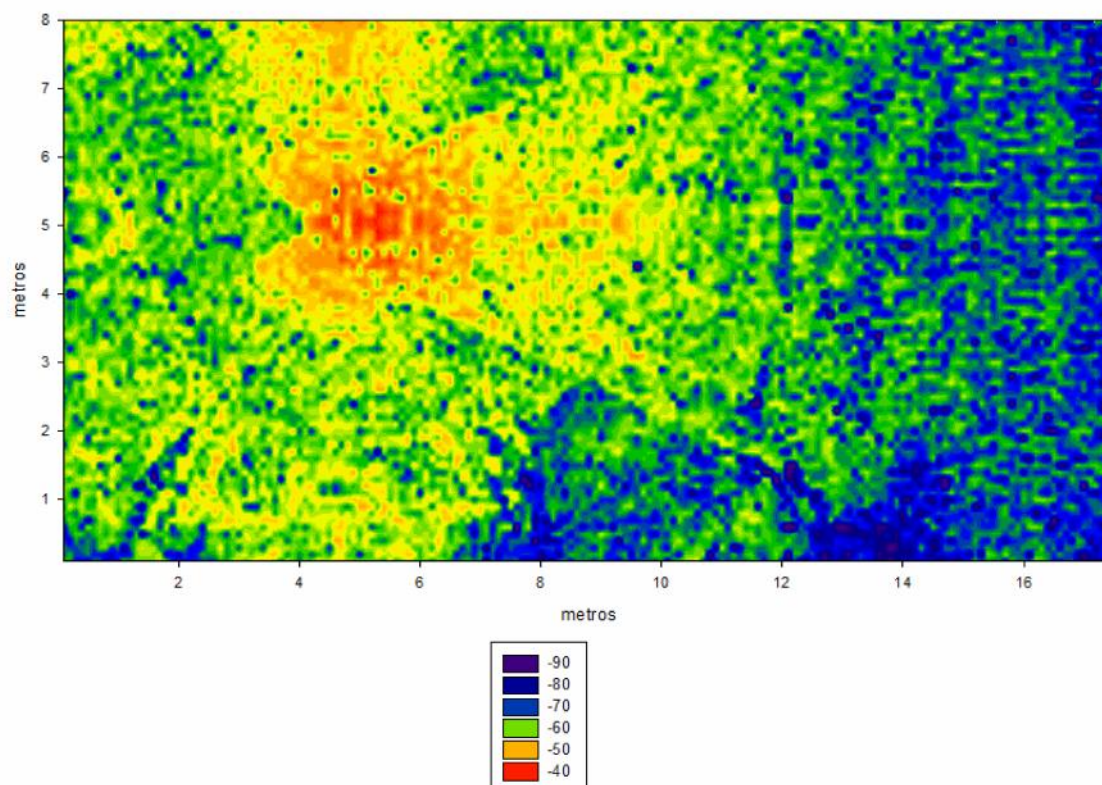




Gráfica de cobertura a 1,35 m de altura



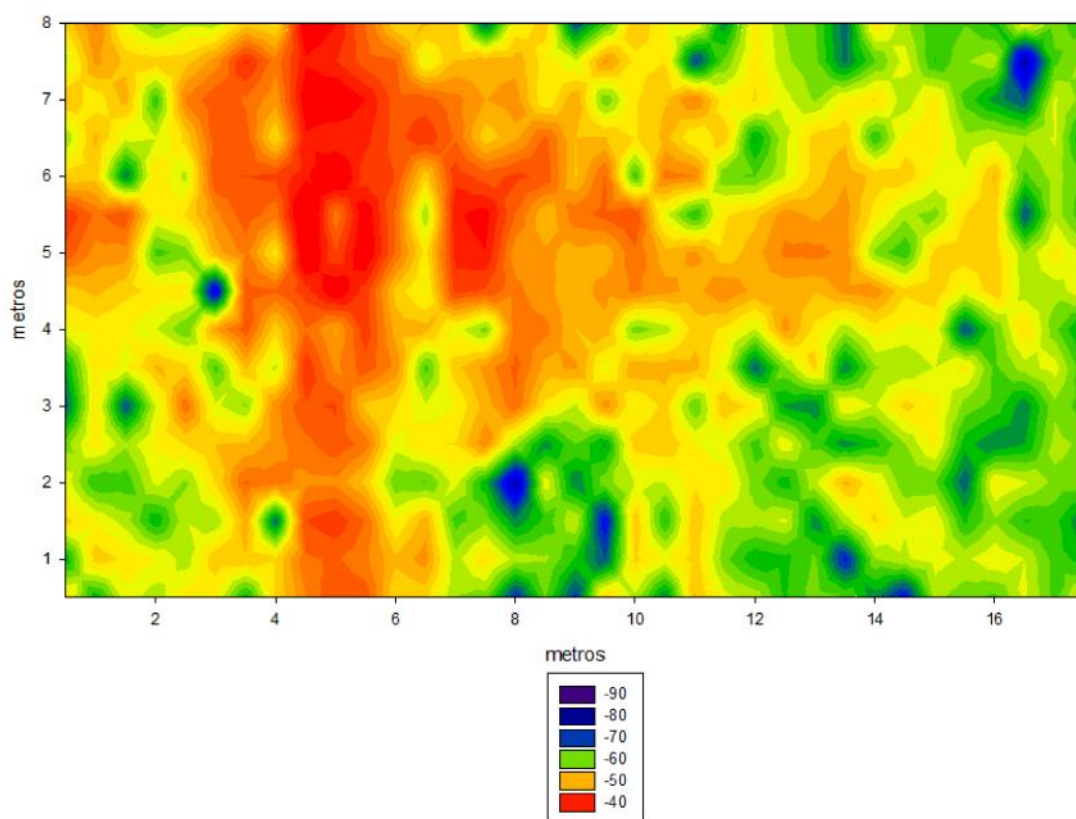
Gráfica de cobertura a 0,3 m de altura



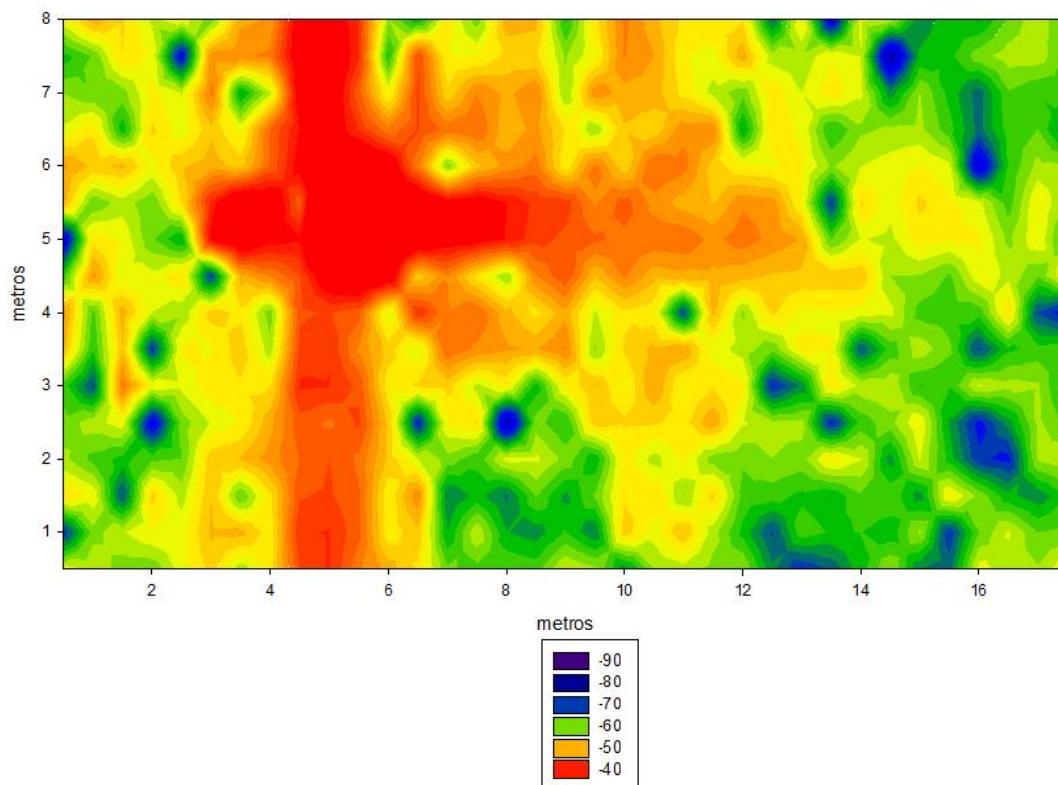
Gráficas 4.10



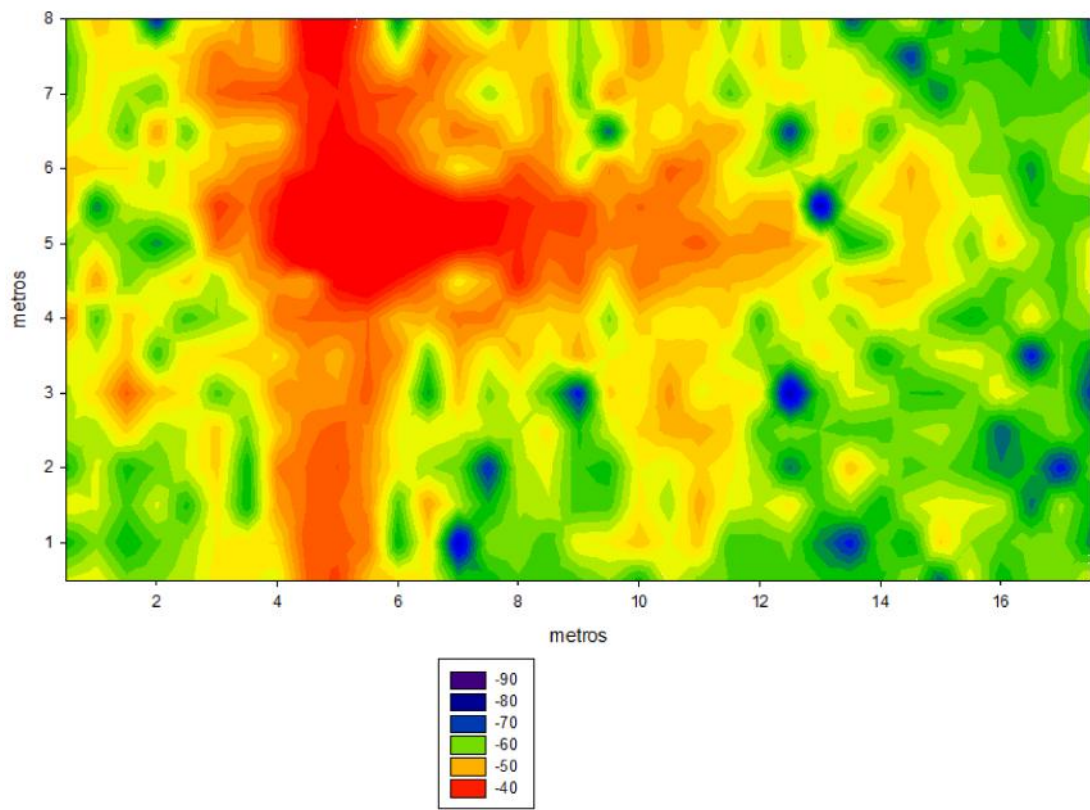
Gráfica de cobertura a 0,3 m de altura



Gráfica de cobertura a 1,35 m de altura

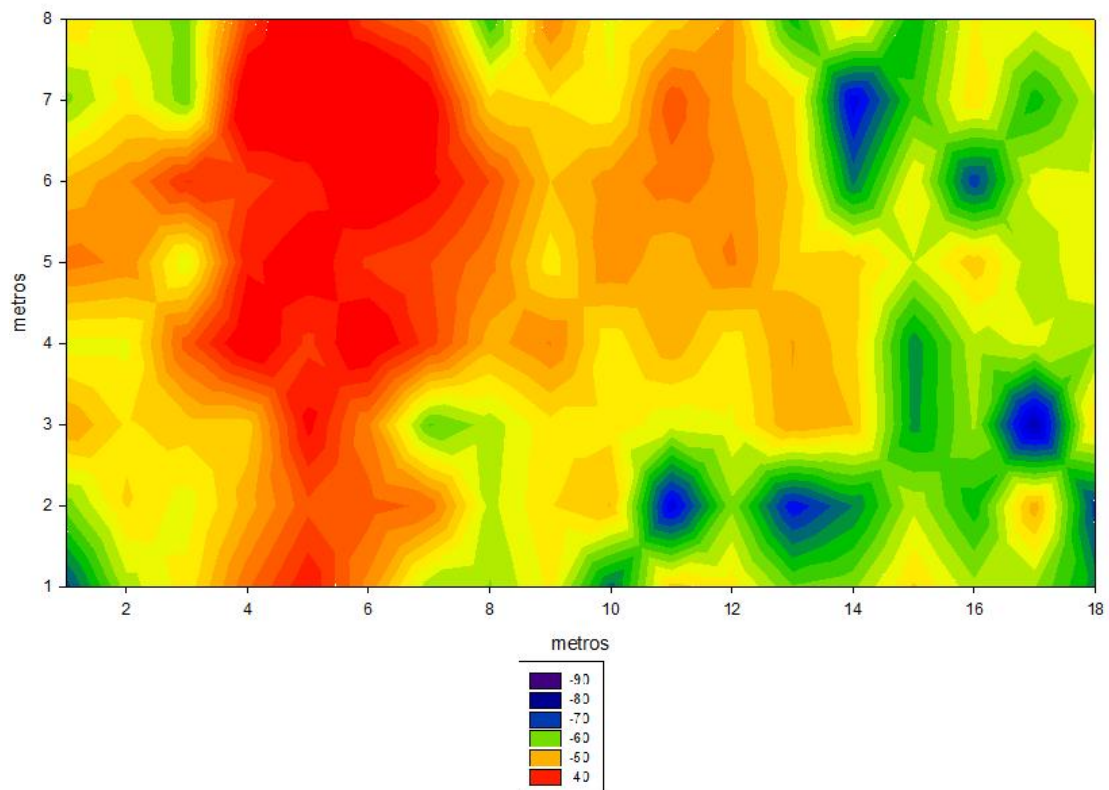


Gráfica de cobertura a 1,9 m de altura

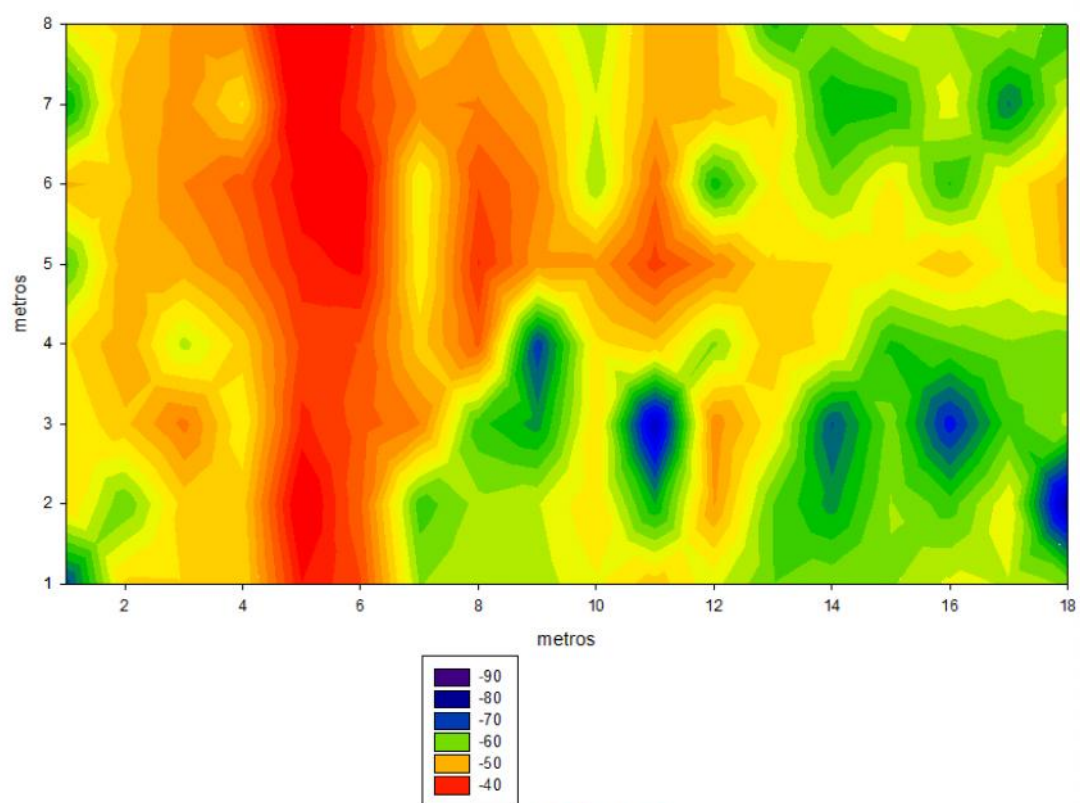


Gráficas 411

Gráfica de cobertura a 0.3 m de altura

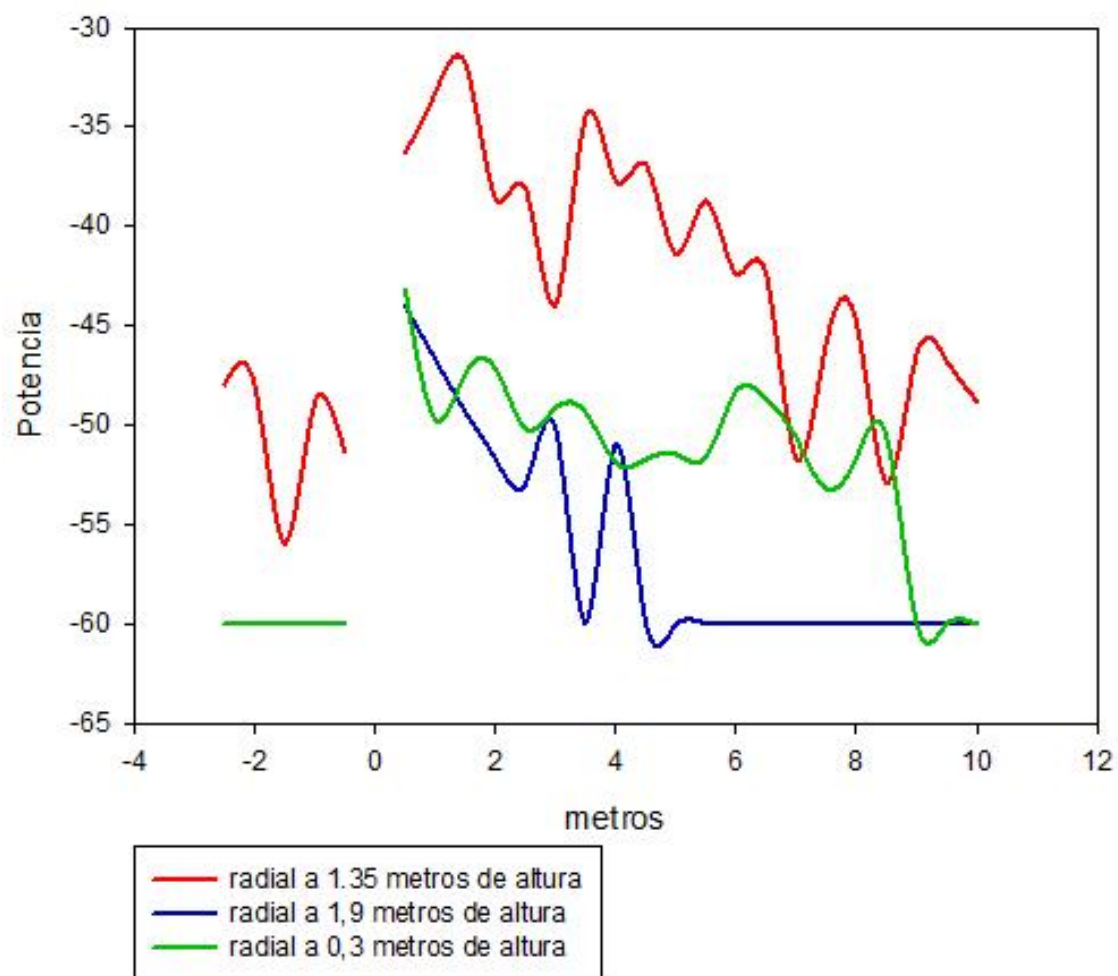


Gráfica de cobertura a 1.35 y 1.9 metros de altura



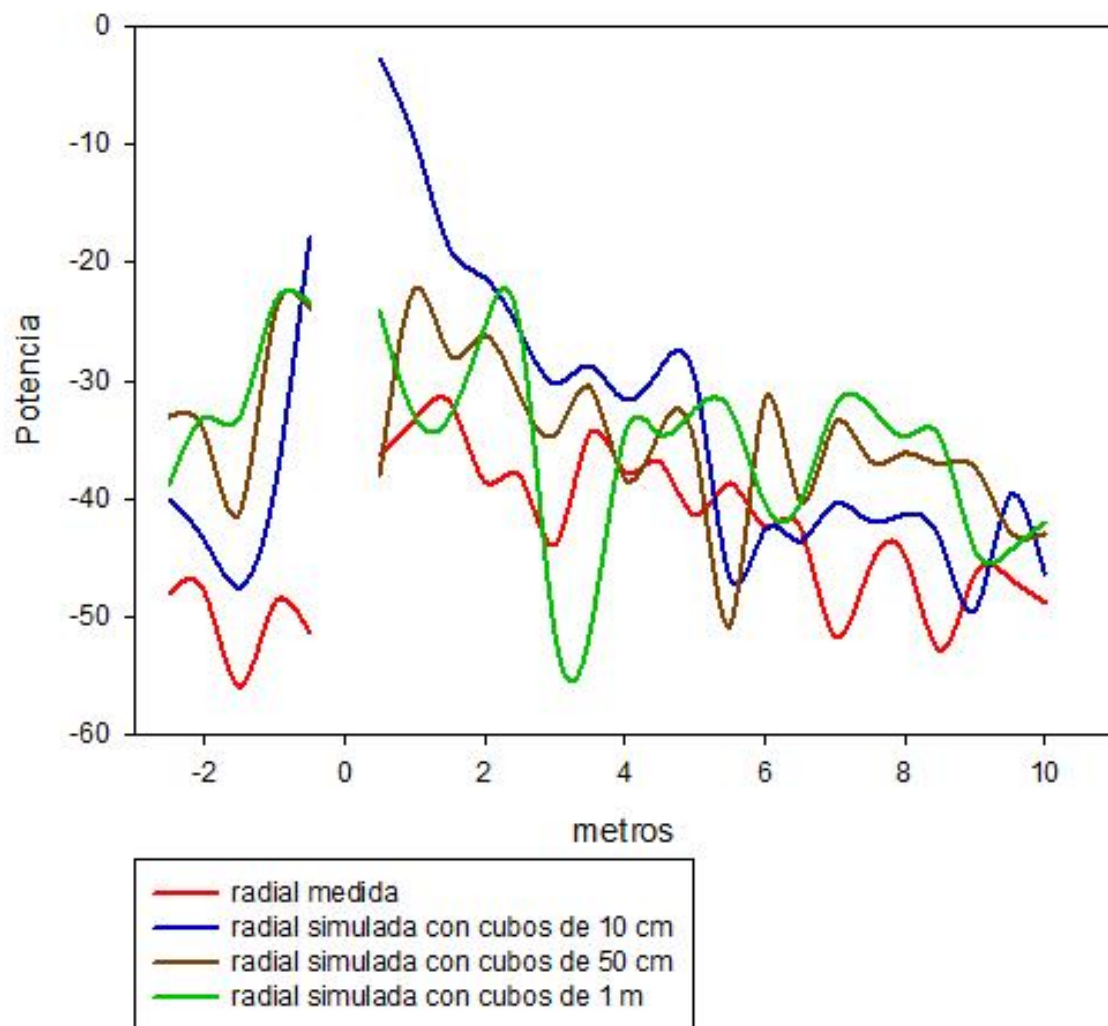
Gráficas 4.12

## Comparación de radiales 1 y 2 a diferentes alturas

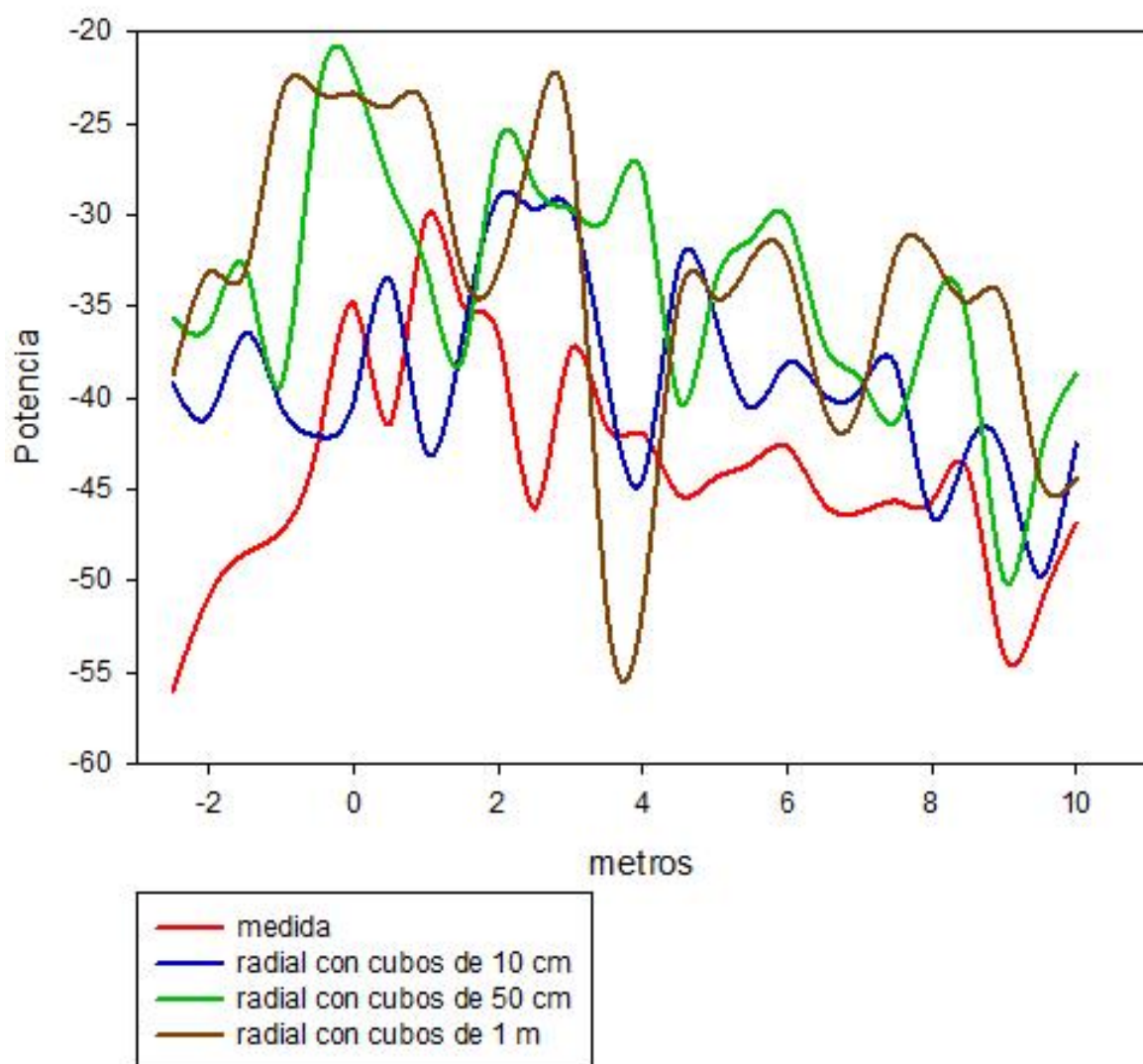




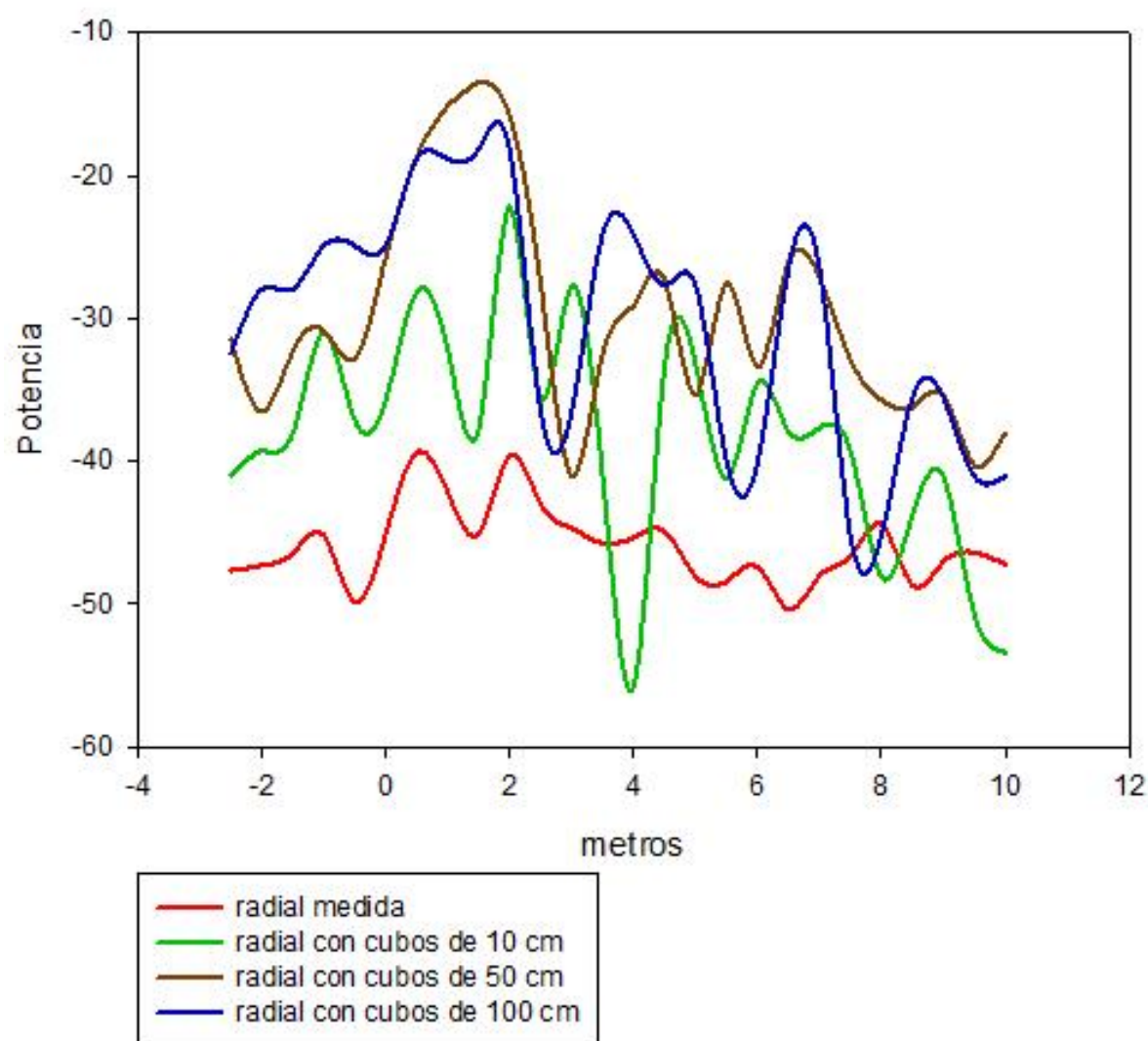
Gráfica comparativa de las medidas y simulaciones de las radiales 1 y 2 a 1,35 metros de altura



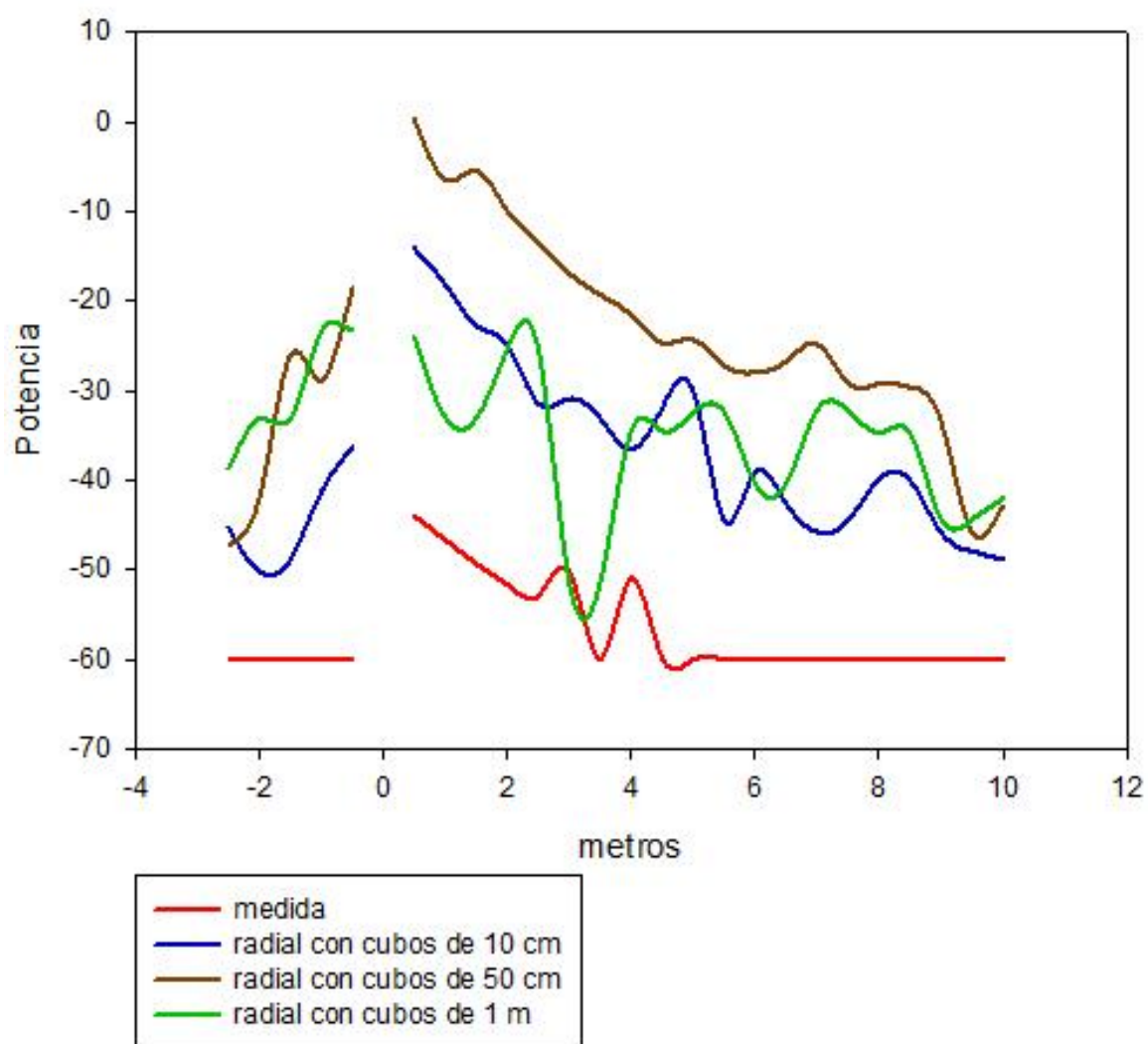
### Gráfica comparativa de las medidas y simulaciones de la radial 3 a 1,35 metros de altura



## Gráfica comparativa de las medidas y simulaciones de la radial 4 a 1,35 metros de altura

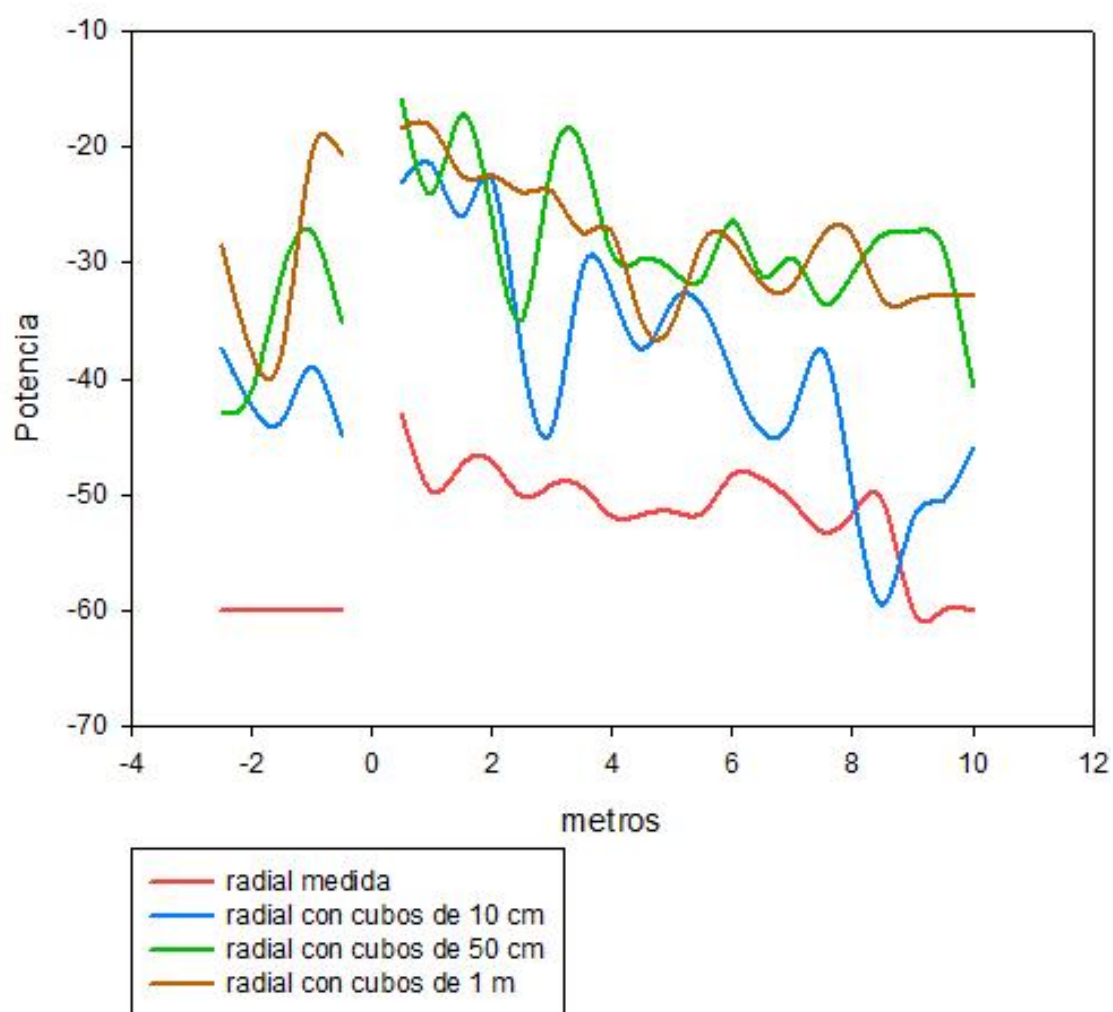


Gráfica comparativa de las medidas y simulaciones  
de la radial 1,9 metros de altura





Gráfica comparativa de las medidas y simulaciones  
de la radial 0,3 metros de altura



metros de altura es en la mayoría de los puntos mayor a las gráficas de estas radiales a 1.9 y 0.3 metros puesto que el transmisor esta a 1.35 metros de altura.

Al simular con cubos de diferentes tamaños buscábamos observar la diferencia de potencia que puede existir y cuál es el tamaño optimo para analizar dicha sala. En las gráficas 4.14, 4.15, 4.16, 4.17 y 4.18 la potencia simulada con cubos de  $10\text{ cm}^2$  se acerca más a la potencia medida que con los otros tamaños de cubos. Sin embargo al alejarnos del transmisor, las gráficas de los tres tamaños de cubos van acercándose a la potencia medida. Esto es porque el simulador trabaja con rayos que simulan las ondas de radiofrecuencias y conforme nos alejamos de la antena transmisora la separación de estos rayos aumenta por el ángulo con el que se lanzan. Por lo tanto a distancias grandes un cubo pequeño puede no recibir rayos o recibir pocos rayos y un cubo más grande al abarcar más espacio puede abarcar más rayos y por lo tanto obtener una medida más precisa

## 5. CONCLUSIONES

Tras el proyecto realizado se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- El simulador de trazado de rayos podría mejorarse con la posibilidad de incluir formas redondeadas para la creación de los escenarios. Por otro lado el problema en cuanto a la distancia y el tamaño de los cubos de medidas podría resolverse poniendo un tamaño de cubos menor para distancias cercanas al transmisor y aumentar el tamaño de estos cubos conforme incrementamos la distancia al receptor.
- Existen múltiples factores que afectan a la transmisión de las ondas electromagnéticas como la distancia, la altura, la polarización de las antenas, el cuerpo humano y las dimensiones de la sala.
- Las medidas de potencia obtenidas en el simulador no se acercan todo lo deseado a las medidas reales pero nos sirve para hacernos una idea de el impacto de un entorno determinado a una comunicación inalámbrica.



uenda.pet

## **Adaptación de los dispositivos en el judogi**

Por último se debería poder integrar los dispositivos en el judogi para que estos no sean molestos ni reduzcan la movilidad del deportista. Es por esto por lo que es importante realizar primero un estudio del comportamiento radioeléctrico de la prenda.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [www.bluetooth.com](http://www.bluetooth.com)
- [www.zigbee.org](http://www.zigbee.org)
- BLUETOOTH SPECIFICATION Version 4.0 [Vol 0]
- Shahin Farahani. ZigBee wireless networks and transceivers.
- IEEE
- R. G. Kouyoumjian and P. H. Pathak, "A uniform theory of diffraction for an edge in a perfectly conducting surface", Proc. IEEE, vol. 62, nº 4, pp. 1448-1462, 1974.
- M. F. Iskander and Z. Yun, "Propagation Prediction models for wireless communications systems", IEEE Trans. Microwave Theory Tech, vol. 50, pp. 662-673, 2002.
- J. Blas Prieto, R. M. Lorenzo Toledo, P. Fernández Reguero, E. J. Abril, A. Bahillo Martínez, S. Mazuelas Franco, and D. Bullido, "A new metric to analyze propagation models", Progress In Electromagnetics Research, vol. 91, pp. 101-121, 2009.
- Lapinski, M., Feldmeier, M., Paradiso, J.A., "Wearable wireless sensing for sports and ubiquitous interactivity" , Sensors 2011 IEEE, 1425-1428.

- Gaffney, M., Walsh, Michael, O'Flynn, B., Mathuna, C.O., "An automated calibration tool for high performanceWireless Inertial Measurement in professional sports", Sensors 2011 IEEE, 262-265.
- Bainbridge, R. ; Paradiso, J.A., "Wireless Hand Gesture Capture Through Wearable Passive Tag Sensing", Body Sensor Networks (BSN), 2011 International Conference , 200-204.
- Lapinski, M. ; Berkson, E. ; Gill, T. ; Reinold, M. ; Paradiso, J.A., "A Distributed Wearable, Wireless Sensor System for Evaluating Professional Baseball Pitchers and Batters", Wearable Computers, 2009. ISWC '09. International Symposium on , 131-138.
- Chi, E.H. , "Introducing Wearable Force Sensors in Martial Arts, Pervasive Computing, IEEE, 47-53.